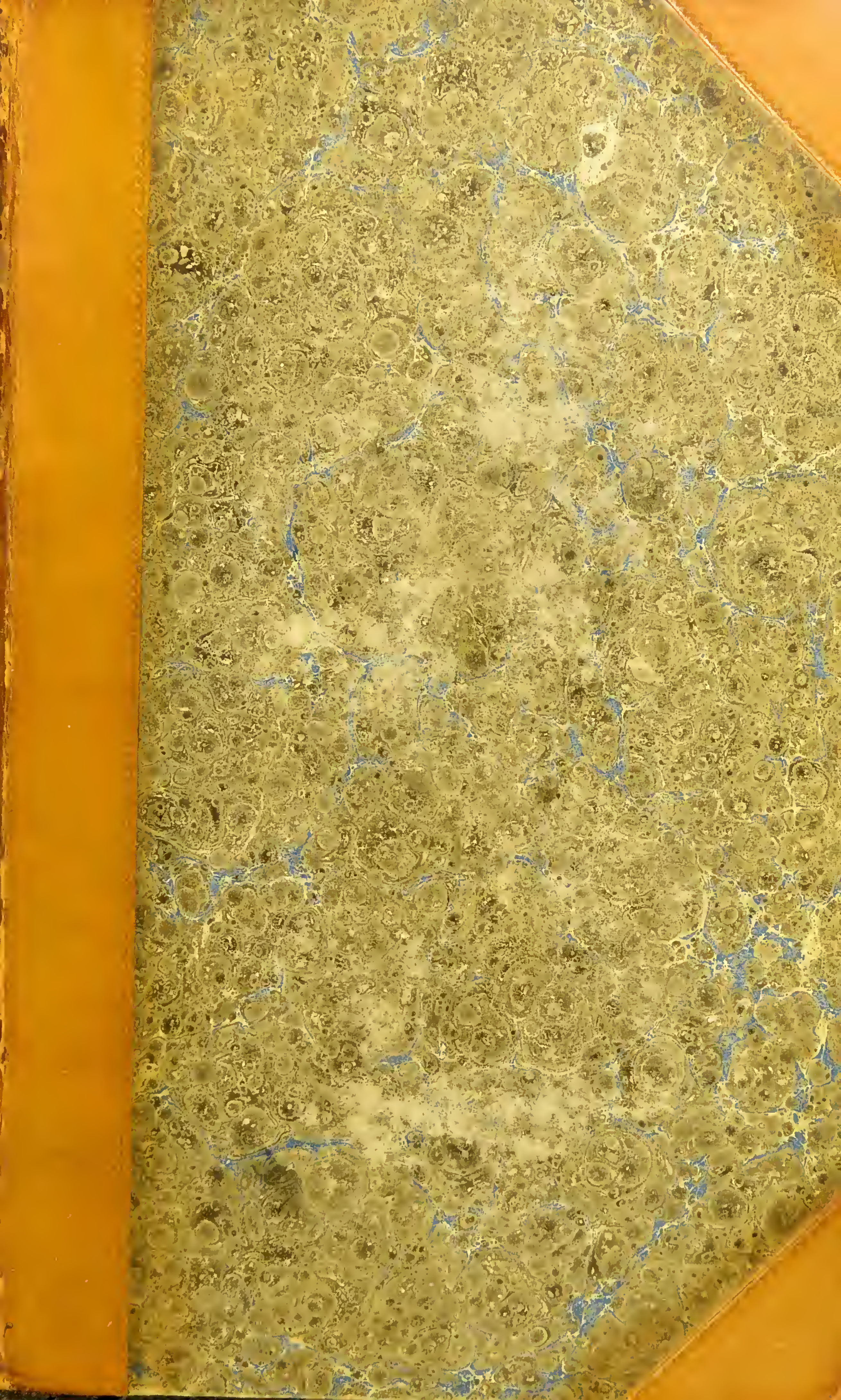
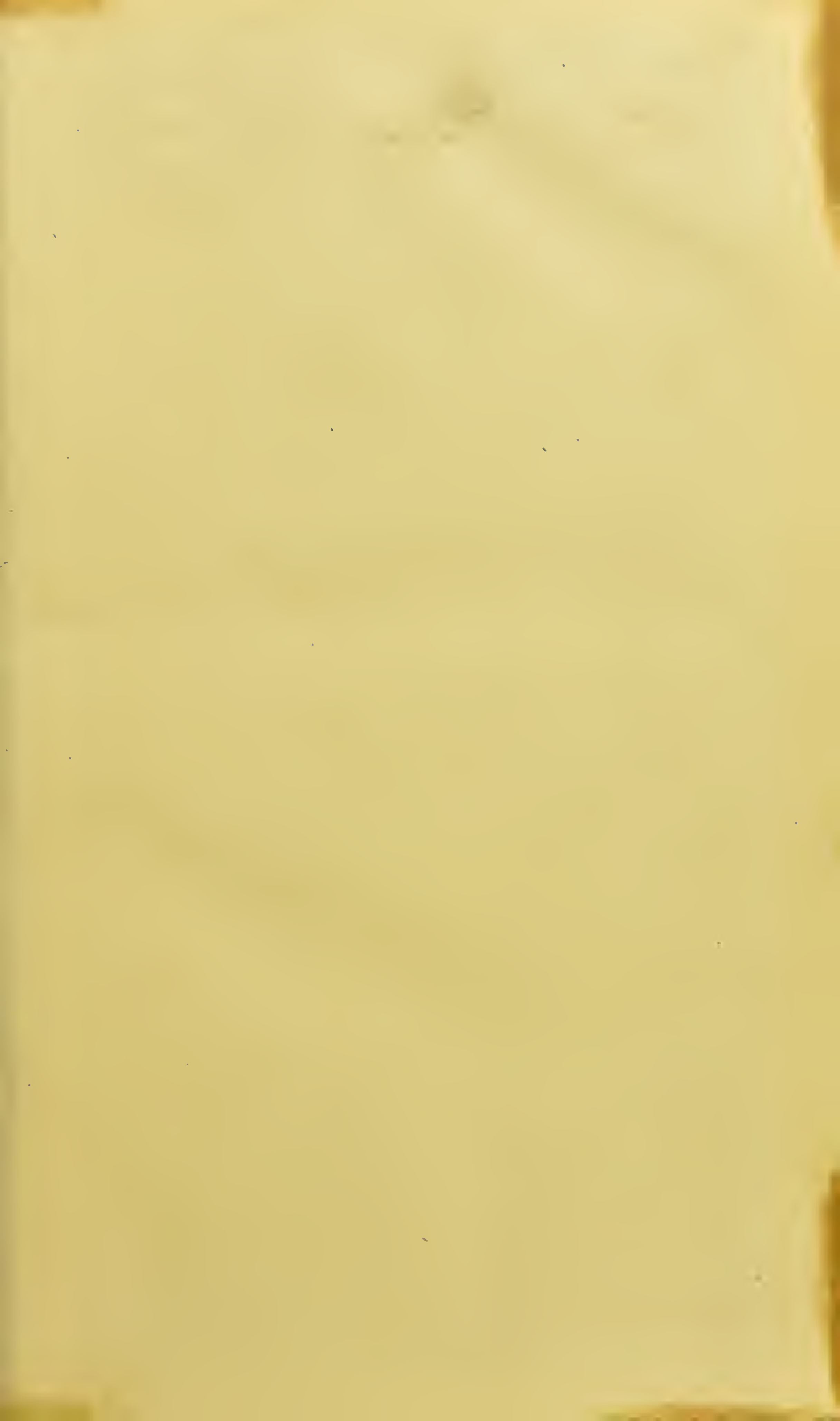
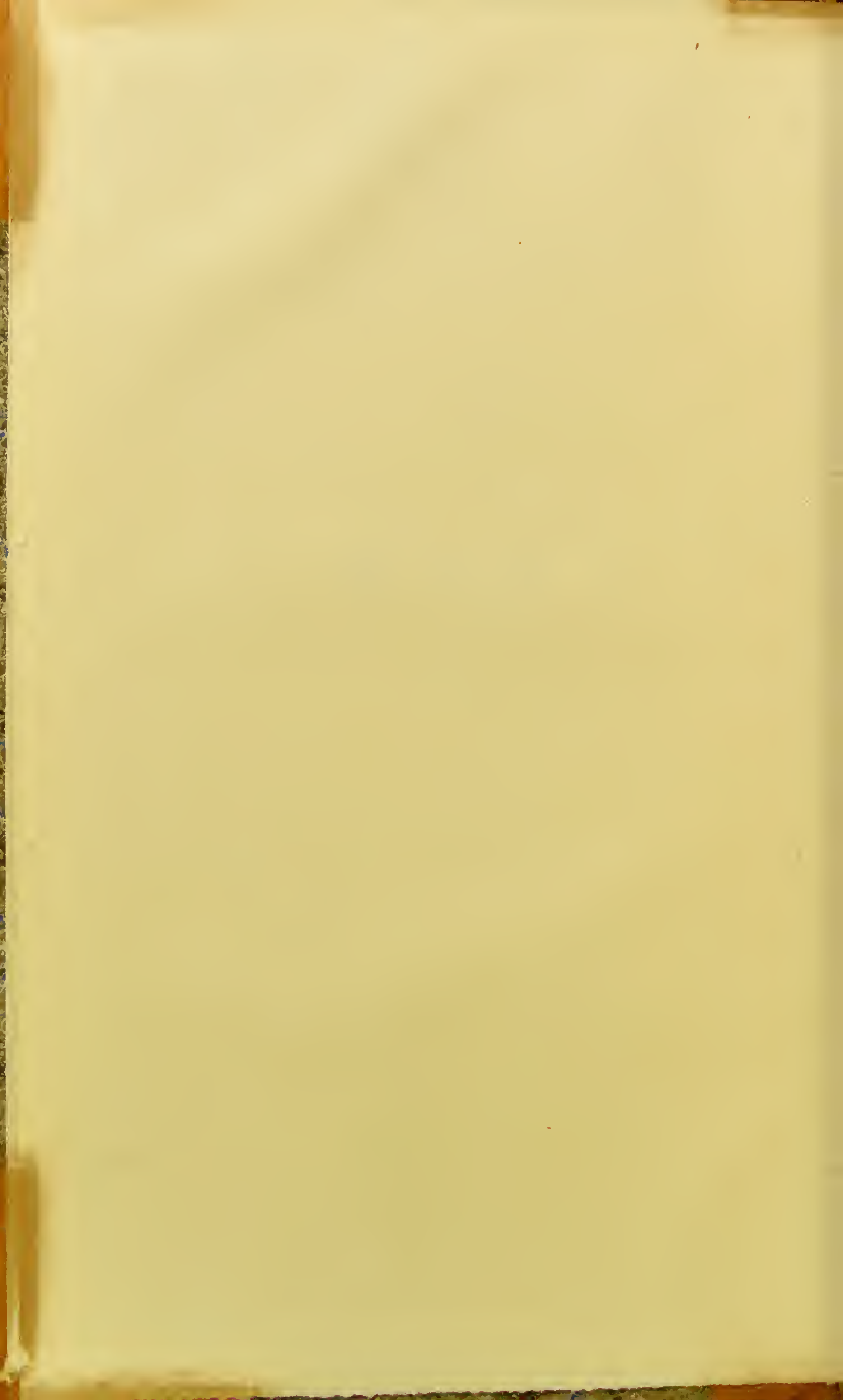
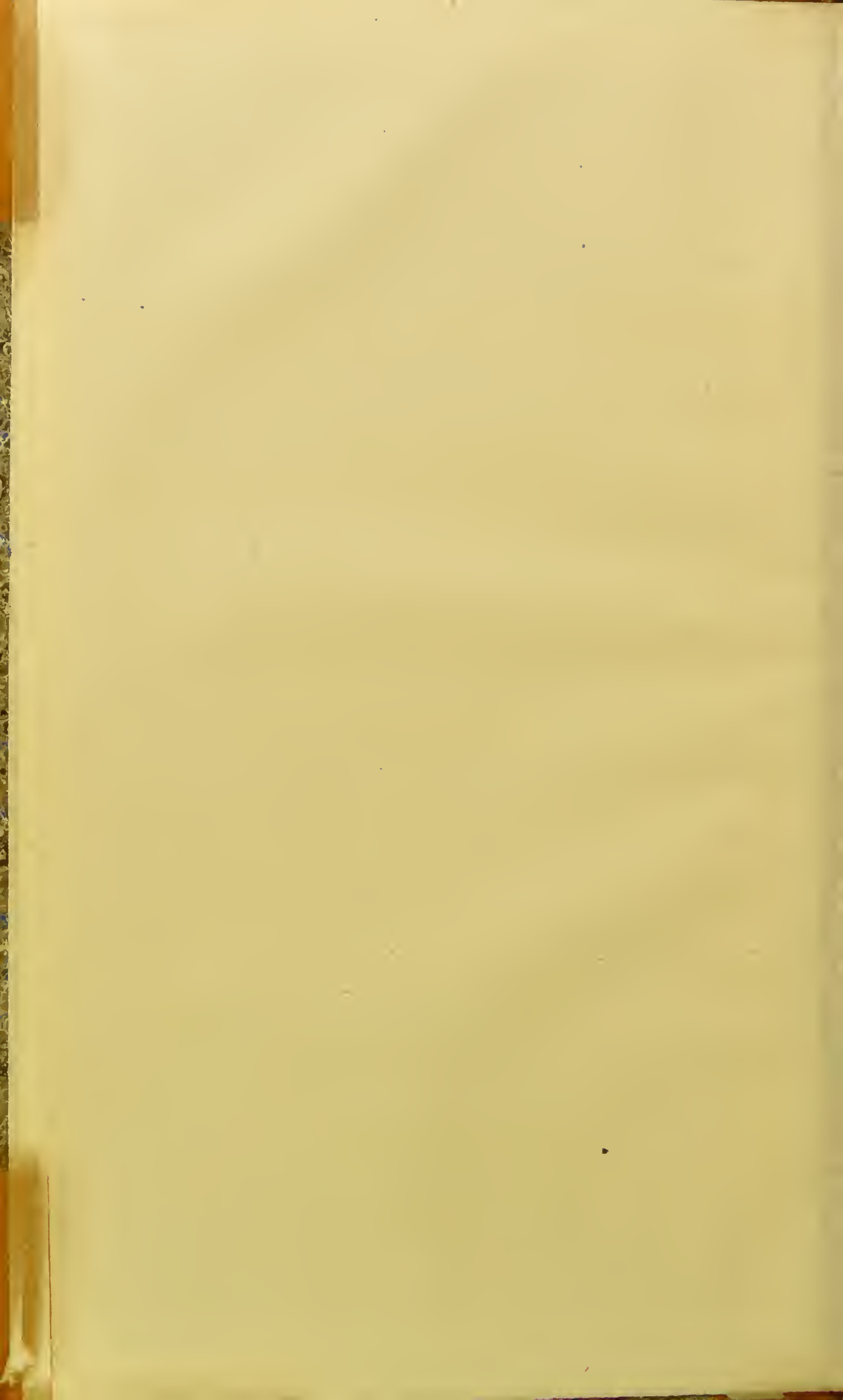








VERSUCH

EINER

PHYSIOLOGISCHEN PATHOLOGIE

DES

HERZENS

UND

DER BLUTGEFÄSSE.

VON

G. VALENTIN.

LEIPZIG UND HEIDELBERG.

C. F. WINTER'SCHE VERLAGSHANDLUNG.

1866.

VERSUCH

EINER

PHYSIOLOGISCHEN PATHOLOGIE

DES

BLUTES

UND

DER ÜBRIGEN KÖRPERSÄFTE.

VON

G. VALENTIN.

ERSTER THEIL.

Hydraulische Hülfslehren, Blut im Allgemeinen und Kreislauf desselben.

LEIPZIG UND HEIDELBERG.

C. F. WINTER'SCHE VERLAGSHANDLUNG.

1866.

Vorrede.

Derselbe Gedanke, den ich bei der Ausarbeitung des Versuches einer physiologischen Pathologie der Nerven durchzuführen strebte und in der Vorrede und der Einleitung jenes Werkes ausführlicher erläuterte, liegt auch der Arbeit zum Grunde, die ich hiermit dem physiologischen und dem ärztlichen Publicum darbiete. Die Verschiedenheit des Gegenstandes führte nur zu einzelnen untergeordneten Abweichungen der Auffassung und der Darstellung.

Der bedeutende Einfluss, den die mechanischen Beziehungen auf die Verhältnisse des Blutes und der Körpersäfte überhaupt ausüben, liess es zunächst als zweckmässig erscheinen, eine hydraulische Einleitung vorauszuschicken, die eine Uebersicht der wichtigsten, auf die Physiologie und die Medicin anwendbaren Lehrsätze enthält. Ich bemühte mich dabei, die hierher gehörenden Leistungen der höheren Physik so einfach und verständlich als möglich wiederzugeben. Die mathematischen Ausdrücke und andere erläuternde Zusätze wurden nur in Anmerkungen, hier wie in dem späteren Texte beigefügt, um die Erläuterung den Kenntnissen und Bedürfnissen der verschiedenartigsten Leser möglichst anzupassen.

Man wird finden, dass ich immer zu den ersten Quellen zurückzugehen suchte. Ich hob dabei die zur Anwendung geeigneten Hauptsätze aus den einzelnen Arbeiten der Koryphäen der zeitlichen Reihenfolge nach hervor. Verlor auch hierdurch die Darstellung hin und wieder an Uebersichtlichkeit, so gewährt doch dieses Verfahren den Vortheil, dass der Physiker, der Physiologe oder der Arzt sogleich findet, welche ihn interessirende Sätze in einer der genannten Abhandlungen behauptet oder bewiesen worden. Ich hoffe übrigens, dass der Kenner auf manche bis jetzt nicht beachtete geschichtliche Thatsache, auf einzelne neue Gedanken und schärfere Ausdrücke bekannter Beziehungen in dieser hydraulischen Einleitung stossen wird.

Das Wechselspiel der einzelnen Gewebtheile, das wir mit dem Namen der Ernährungserscheinungen zu bezeichnen pflegen, fusst auf der Veränderung der Körpersäfte, die ursprünglich aus dem Blute hervorgehen und deren wesentliche Bestandtheile wiederum unmittelbar oder mittelbar zu ihm zurückkehren. Man kann daher das Ganze in drei auf die Blutmasse bezogenen Hauptabschnitten betrachten. Der erste, dem dieser Band gewidmet ist, untersucht die allgemeinen Eigenschaften und die Bewegung des Blutes. Die beiden anderen Theile beschäftigen sich mit den Einnahmen und den Ausgaben desselben. Eine spätere Darstellung soll diese zwei Abschnitte behandeln.

Eine Gedankenreihe, die man sich nicht hinreichend klar zu machen pflegt, leitete mich bei der Ausarbeitung dieses Versuches.

Es bildet einen Rest der früheren einseitig teleologischen Anschauungsweise der Lebenserscheinungen, wenn man die Thätigkeit eines Körperabschnittes als Zweck und nicht als Folge des Gegebenen ansieht. Diese immer noch gewöhnliche Auffassung führt zu dreierlei Hauptübelständen. Man vergisst, dass das, was wir

ein Organ nennen, nur eine künstlich losgetrennte Anzahl ungleichartiger Gewebtheile umfasst. Es bleibt ferner unbeachtet, dass die von uns als Thätigkeiten gedeuteten Erscheinungen die Resultanten oder die Summen einer unendlichen Menge von unendlich kleinen und oft verschiedenartigen Wirkungen bilden, dass die Natur mit mikroskopischen Werkzeugen arbeitet, wir dagegen die groben und daher unvollständigen und oft unwahren Auffassungen, welche unsere unbewaffneten Sinne liefern und die unser gewöhnliches Leben beherrschen, auch auf unsere wissenschaftlichen Anschauungen übertragen. Man setzt endlich hierbei eine Kluft zwischen Gesundheit und Krankheit voraus, die in der Wirklichkeit nicht vorhanden ist.

Die richtigere Betrachtungsweise lässt sich nur in ihren allgemeinsten Umrissen nach unseren gegenwärtigen Kenntnissen andeuten. Man kann aber dabei wenigstens das Ziel, welches die wissenschaftlichen Bemühungen erstreben sollen, schärfer, als es gewöhnlich geschieht, zu bezeichnen versuchen.

Mögen wir mit der ersten Embryonalanlage oder mit einem späteren willkürlich gewählten Ausgangspunkte beginnen, so ist immer eine gewisse Anzahl schon vorhandener Gewebelemente gegeben, die sich selbst und die zugänglichen Stoffe nach Maassgabe der beiderseitigen Zusammensetzung unter den vorhandenen Nebenbedingungen in gesetzlicher Weise ändern. Dieses führt zunächst zur Aufgabe, die Bedingungen kennen zu lernen, welche die Form, die Beschaffenheit und die Wirkung eines jeden einzelnen mikroskopischen Werkzeuges bestimmen und so die Geweblehre zu einer sinnreicheren Wissenschaft, als sie bisher war, zu machen. Die hydraulische Einleitung enthält in dieser Beziehung einige die Gestalten betreffende Andeutungen, die ich bei der Betrachtung der Ausgaben des Blutes zu vervollständigen hoffe.

Da die Beschaffenheit eines gegenwärtigen Elementes von der des früheren und den Eigenthümlichkeiten der eingreifenden Nebenbedingungen abhängt, so ist hierdurch ein weiter Spielraum für jedes mikroskopische Gebilde und daher ein unendlicher für die Anhäufung derselben, die wir einen Organismus nennen, gegeben. Diese Mannigfaltigkeit erzeugt die Abstufungen, die wir als Gattungen, Arten, Individuen und Krankheitserzeugnisse mehr oder minder künstlich sondern. Es gibt zunächst eine von der Massenbeschaffenheit abhängige Grenze, jenseit deren das mikroskopische Werkzeug seine für das Minimum der Lebensthätigkeit nöthigen Eigenschaften verliert und daher, wie wir sagen, der Fäulniss verfällt. Man hat ausserdem bestimmte Schranken für die gegenseitige combinatorische Verbindung der einzelnen Gewebelemente. Die Annäherung an diese äussersten Grenzbezirke führt im Allgemeinen zur Krankheit, wie die Ueberschreitung derselben zur körperlichen Auflösung der lebenden Wesen. Hieraus folgt, dass wir immer nur willkürlich die Grenze zwischen Gesundheit und Leiden feststellen können und meist die regelwidrigen Zustände, unserer groben Sinnesauffassung entsprechend, erst dann erkennen, wenn die Summe der ungewöhnlichen Wirkungen gross genug geworden, unsere stumpfen Empfindungswerkzeuge nachdrücklich anzuregen.

Zwei an und für sich ungenügende Forschungsarten dürfen sich statt der dritten einzig entsprechenden, aber wahrscheinlich nie möglichen, in der Physiologie und Pathologie um so mehr Bahn brechen, je weiter diese Auffassungsweise der Lebenserscheinungen in das Mark und Blut der Wissenschaft eindringt. Das monographische Studium wird sich mit der Bearbeitung eines beschränkten willkürlich herausgerissenen Abschnittes beschäftigen und so die Vertiefung in die Aufgabe durch die mit jeder Virtuosität verbundene

Einseitigkeit zu erkaufen suchen. Die Schilderung der Gesammtgruppe der Lebensthätigkeiten wird sich nicht, wie bisher, mit der Aufstellung allgemein gültiger kanonischer Sätze begnügen, sondern auch die hauptsächlichsten Schwankungen der Wirkungen anzeigen, die aus der mit der Individualität, der Zeit und den äusseren Einflüssen wechselnden Beschaffenheit und gegenseitigen Verbindung der thätigen mikroskopischen Elemente hervorgehen. Sie muss auf diese Weise Physiologie oder Pathologie in ihrer Darstellung mehr oder minder umfassen. Die höchste Aufgabe, alle möglichen Wechselerscheinungen des Lebens einer bestimmten Art von Geschöpfen anzugeben und sie aus den Variationen der Träger derselben ursächlich herzuleiten, wird nie gelöst werden. Wer die Hauptsätze der Combinationslehre kennt, die verhältnissmässig weit gestreckten Grenzen der möglichen Ausgleichung krankhafter Zustände in Betracht zieht und überdies die Lebenszähigkeit der meisten Geschöpfe in Rechnung bringt, der muss bald einsehen, dass hier, abgesehen von allem Anderen, eine Zahl möglicher Fälle und gegenseitiger Verbindungen auftritt, die kein Menschengeist übersehen kann.

Man wird finden, dass ich die oben erläuterte allgemeinere Darstellungsweise bei meiner Ausarbeitung fortwährend im Auge hatte. Ich ging dabei auf einzelne der Wechselerscheinungen näher ein, begnügte mich dagegen bei anderen, auf die maassgebenden Lehrsätze der Einleitung hinzuweisen. Es lag in der Natur der Sache, wenn ich die Leidenszustände des Herzens und der grossen Gefässe ausführlicher berücksichtigte. Gestattet auch die gegenwärtige Krankheitslehre nur das Gröbere des Gröberen zu erkennen, so gab doch die eingeschlagene Behandlungsweise mehrfache Gelegenheit, irrige Vorstellungen zurückzuweisen und neue Gesichtspunkte anzudeuten.

Da die geschichtlichen, die Entdeckung des Kreislaufes betreffenden Notizen erst während des Druckes dieses Werkes durch die Zuvorkommenheit eines Fachgenossen vervollständigt wurden, so war ich genöthigt, eine ergänzende Anmerkung an einer geeigneten Stelle des Schlusstheiles hinzuzufügen. Eben so möchte ich auf das aufmerksam machen, was über die einfarbige Beleuchtung bei mikroskopischen Untersuchungen in den Nachträgen gesagt wird, da es sich hier um einen Gegenstand handelt, der nicht bloss für den Mikroskopiker, sondern auch für den Gerichtsarzt wichtig zu werden verspricht.

Bern, den 5. October 1865.

G. Valentin.

Inhalt.

Einleitung.

§. 1. Das Blut bildet die Mutterlauge unserer Körpersäfte. Es liefert die für die Absonderungen und die Gewebsernährung nöthigen Verbindungen und empfängt die zum Ersatze eingeführten flüssigen oder lösungsfähigen Stoffe. Der Bedarf ungleicher Bestandtheile für die verschiedenen Organelemente führt zu der Nothwendigkeit, es in Behältern einzuschliessen, deren poröse Wände nicht alle Verbindungen ohne Unterschied, sondern die einen in grösseren, andere dagegen in geringeren Mengen durchlassen und noch andere vollständig zurückhalten. Die auf diese Art ausgetretenen Flüssigkeiten können sich in die Nachbarräume nach Maassgabe der Diffusionsbedingungen verbreiten. Da jedes Element die ihm hierdurch dargebotenen Stoffe zu benutzen vermag, so sind in dieser Hinsicht die den Blutbehältern näher liegenden Gebilde vor den entfernteren bevorzugt. Man nennt gewöhnlich diejenigen Gewebe blutgefässlos, deren Beschaffenheit es gestattet, dass ihre in grösseren Abständen von der Blutmasse befindlichen Elemente von den Resten der neu zugeführten Stoffe leben können, die ihnen zahlreiche nähere übrig gelassen haben. Die meisten Gewebe aber besitzen keine solche Genügsamkeit. Die von dem Blute abgeschiedene Gesammtmischung darf nur wenig verändert sein, wenn sie noch den Forderungen dieser Gebilde entsprechen soll. Nur geringe Entfernungen dürfen sie desshalb von der Blutmasse trennen. Blutbehälter, die das freie Auge ihrer Kleinheit wegen nicht zu erkennen pflegt, die Haargefässe, durchziehen daher die blutgefässreichen Gewebe in den mannigfachsten Richtungen.

§. 2. Ruhte das Blut, so würden sich zweierlei Nachtheile geltend machen. Die an einer gegebenen Körperstelle vorhandenen Nebenbedingungen lassen meist nur eine gewisse Zahl von Stoffen und bestimmte, den Verhältnissen entsprechende Mengen derselben

austreten. Andere Verbindungen, die erst an einem späteren Orte durchdringen, an einem früheren aber mit Erfolg zu verwenden wären, könnten auf diese Weise in dem ruhenden Blute nicht dienen. Der Uebelstand, der sich am Ende nur auf einen Grundsatz der Sparsamkeit bezieht, hat eine weit geringere Bedeutung als der, dass sich die ruhende Blutmasse nach einiger Zeit erschöpfen würde und hierauf die Fähigkeit verlöre, die für das Leben der Gewebe nöthigen Bedingungen herzustellen. Der Ortswechsel, den wir den Kreislauf nennen, kann diese Gefahr verhüten.

§. 3. Die Blutmasse ist in einem in sich zurücklaufenden Röhrensysteme vertheilt. Ein Bezirk desselben, der sich durch die Stärke seines Muskelbelages auszeichnet, das Herz, bildet einen nach Art einer Pumpe periodisch thätigen Druckbehälter. Es entnimmt Blut den nächsten zuführenden Röhren oder den Blutadern und übergibt es den benachbarten abführenden, die wir die Schlagadern nennen. Da aber die Spannung der dehnbaren Gefässe mit deren Anfüllung mit Flüssigkeit zunimmt, so muss die Herzthätigkeit sie zunächst in den Blutadern sinken und in den Schlagadern steigen lassen. Man erhält daher einen Druckunterschied, der das Blut von diesen nach jenen überzuführen sucht und es also auch in den Haargefässen in Bewegung setzt. Ein neuer Herzschlag greift immer früher ein, als sich die Verschiedenheit der Spannungen der Puls- und der Blutadern vollkommen ausgeglichen hat. Ein Theil derselben bleibt also auch während der Erschlaffung der Kammern zurück. Die ununterbrochene Fortdauer der Blutbewegung ist auf diese Weise gesichert.

§. 4. Die scheinbar zarteste Umwandlung, die das Blut in den Haargefässen der Körpertheile erleidet, der Wechsel der physikalisch oder chemisch gebundenen Gase und die hiervon abhängige Farbenänderung, bildet auch die empfindlichste Bedingung seiner Wirksamkeit. Die Erneuerung muss daher in dieser Hinsicht rascher als für die gröberen Umsatzerscheinungen der Blutmasse verbessernd durchgreifen. Eine verhältnissmässig geringe Aenderung in der Anordnung des Röhrensystems genügte, diese Forderung mit möglichster Vollständigkeit in den höheren Geschöpfen zu befriedigen. Statt das Herz in einen einfachen Ring, wie in den Fischen, einzuschalten, wurde die in sich zurücklaufende Blutbahn zweimal schlingenähnlich eingelegt, jede dieser Umbiegungen mit einem starken Muskelbelage versehen und beide als rechtes und als linkes Herz in den erwachsenen Vögeln, Säugethieren und Menschen mit

vollkommener gegenseitiger Höhlentrennung innig aneinander gefügt[1]). Die eine grössere ausserhalb des Herzens gelegene ideelle Schlinge, deren Umbiegung von den Haargefässen der Körperorgane dargestellt wird, gehört dann derjenigen Blutmasse an, die erfrischt ankommt und ausgenutzt fortgeht. Die andere, deren Wegesrichtung in den Athmungscapillaren umkehrt, empfängt das unbrauchbare Blut, um es an die Körpertheile abgehen zu lassen, nachdem es durch den Einfluss der Athemluft hergestellt worden. Da aber auf diese Art das rechte Herz nur dunkeles und das linke nur helles Blut führt, so forderte die vollständige Trennung der beiden Blutarten eine vollkommene gegenseitige Sonderung der Hohlräume der zwei Herzhälften.

§. 5. Eine genügende Darstellung der Verhältnisse des Blutes muss hiernach drei Gruppen von Haupterscheinungen umfassen, die allgemeine Beschaffenheit jener Mittelpunktsflüssigkeit des Körpers und die durch den Kreislauf bedingten Ortsveränderungen derselben, den

---

[1]) Diese vollständige Sonderung des rechten und des linken Herzens und der dessenungeachtet stattfindende Uebergang des Blutes aus den Hohlräumen des einen in die des anderen und die Grösse der Lungenschlagader liessen Servet schliessen, dass ein Lungenkreislauf vorhanden sein müsse. Die merkwürdige Stelle (Christianismi Restitutio. 1553. De Trinitate Liber V. Wiederabdruck von 1790. 8. p. 170) lautet: Generatur (spiritus tenuis sanguinis) ex facta in pulmonibus mixtione inspirati aëris cum elaborato subtili sanguine, quem dexter ventriculus cordis sinistro communicat. Fit autem communicatio haec non per parietem cordis medium, ut vulgo creditur, sed magno artificio a dextro cordis ventriculo, longo per pulmones ductu, agitatur sanguis subtilis: a pulmonibus praeparatur, flavus efficitur: et a vena arteria in arteriam venosam transfunditur. Deinde in ipsa arteria venosa inspirato aëri miscitur, exspiratione a fuligine repurgatur. Atque ita tandem a sinistro cordis ventriculo totum mixtum per diastolen attrahitur, apta suppellex, ut fiat spiritus vitalis. Der nachfolgende Text entwickelt die oben erwähnte Ursache des Lungenkreislaufes, spricht von dem Uebergange des Blutes der Pfortader in die untere Hohlvene durch die Leber und deutet an, dass Servet seine Auffassungsweise aus den Beschreibungen von Galen hergeleitet hat. Aehnliche Gedanken sind auch zum Theil p. 178 ausgesprochen. Ueber Servet's Vorgänger siehe B. N. Pariser, Historia opinionum, quae de sanguinis circulatione ante Harvaeum viguerunt. Berolini 1830. 8. p. 36—39. Da das Werk von Servet 1531 zum ersten Male erschien, so würden die Prioritätsansprüche, die Mendoza (E. Hering, Repertorium der Thierheilkunde. 1850. p. 257—259) für den Thierarzt La Reina angeblich aus dem Jahre 1532 erhoben hat, hinwegfallen, wenn selbst die Mittheilungen desselben klarer wären und sich auf etwas mehr als den Blutinhalt einzelner Körpergefässe bezögen. Ercolani (Hering's Repertorium 1855. S. 106) behauptet, dass ein Thierarzt Ruini schon 1590 und später Rudio den vollständigen Kreislauf vor Harvey beschrieben habe. Da mir die Originalwerke nicht zugänglich sind, so muss ich mich mit dieser Anführung begnügen.

Gewinn, den alle Arten der Einsaugung, also auch die Lungen- und Hautathmung, herbeiführen und den Verlust, den die Absonderungen und die Ernährungserscheinungen erzeugen. Alle hier in Betracht kommenden, dem Stoffwechsel dienenden Thätigkeiten setzen die verschiedenartigsten Bewegungen tropfbarer oder elastischer Flüssigkeiten als Grund- oder wenigstens als Vorbedingung voraus. Wir wollen daher die in dieser Hinsicht verwerthbaren Lehrsätze der Hydrostatik und der Hydrodynamik in einem ersten allgemeinen Abschnitte betrachten. Der specielle wird sich dann mit den Bestandtheilen und dem Kreislaufe des Blutes in einer ersten, den Einnahmen desselben in einer zweiten und den Ausgaben in einer dritten Abtheilung beschäftigen.

Allgemeiner Theil.

Hydraulische Hülfslehren.



§. 6. Die grössere Gleichgültigkeit der wechselseitigen Stellungsbeziehungen der Theilchen und die hierdurch bedingte Unselbständigkeit der Gestalt unterscheidet die flüssigen von den festen Körpern. Dieser Umstand erschwert die Untersuchung der Mechanik der Flüssigkeiten in hohem Grade. Man erleichtert sich gewöhnlich die Aufgaben, indem man die Eigenschaften, welche eine unbedingte Beweglichkeit der Theilchen hindern, unbeachtet lässt oder wenigstens unvollständig berücksichtigt. Die Hydrostatik oder die Lehre von dem Gleichgewicht der Flüssigkeiten kann auf diese Weise die einfachsten Bedingungen desselben leicht herleiten. Die mannigfachen und nicht vollkommen genügenden Theorieen der Haarröhrchenanziehung, welche die ersten Mathematiker aufgestellt haben, lehren aber am Deutlichsten, auf wie unsicherer Grundlage die Betrachtung ruht, sowie man Nebenbedingungen einführen muss, die dem gewöhnlichen Ideal einer Flüssigkeit nicht mehr entsprechen. Die Hydrodynamik oder die Lehre von der Bewegung der flüssigen Massen bietet noch grössere Uebelstände dar. Haupteinflüsse, wie die der inneren und der äusseren Reibung, der durch die unmittelbaren Bahnen oder die Zurückwerfungen bedingten gegenseitigen Stösse der Flüssigkeitstheilchen, der aus den mannigfachsten Ursachen erzeugten Wirbel- oder Strudelbewegungen und des Verlustes von lebendiger Kraft überhaupt oder des Umsatzes von äusserer mechanischer Thätigkeit in Wärme bleiben in der Regel in den einfacheren Darstellungen der leichteren Uebersichtlichkeit wegen unbeachtet. Sie müssen in fast allen verwickelteren Aufgaben bei Seite gelassen werden, weil die Kräfte der mathematischen Analyse zu ihrer Berücksichtigung nicht ausreichen. Die Aufstellung der Differentialgleichungen hat meistentheils keine wesentlichen Schwierigkeiten unter den naturwidrig vereinfachten Bedingungen. Die Integration derselben überschreitet dagegen häufig die Grenzen der Hülfsmittel, welche die höhere Mathematik darbietet.

Man muss die Bedingungen einschränken, einzelne Kräfte weglassen oder die zweiten und die höheren Potenzen mancher als sehr klein angenommener Glieder, z. B. der Geschwindigkeit, als unbedeutend bei Seite setzen, um zum Ziele zu gelangen. Selbst diese Näherungsrechnung fordert aber nicht selten eine Summe von Scharfsinn und Gewandtheit, wie sie eben nur mathematischen Köpfen ersten Ranges eigen ist.

§. 7. Dieser Umstand erklärt die eigenthümliche Stellung, welche die Hydrodynamik in den Augen kritischer Sachkenner einnimmt. Sie genügt dem reinen Mathematiker nicht, weil man die Differentialgleichungen so lange verkürzen muss, bis sie sich der Zwangsjacke der zu Gebote stehenden Integrationsmethoden fügen. Sie befriedigt den Physiker und den Physiologen eben so wenig, weil die gelösten Aufgaben einfacher sind, als sie die Natur darbietet und daher die von dieser wahrhaft gestellten Fragen gerade in ihren feinsten und interessantesten Beziehungen unbeantwortet bleiben. Die Ansicht, dass die Hydrodynamik mehr Stoff für mathematische Uebungen, als Ergebnisse einer wahren höheren Physik enthält, dürfte unter diesen Verhältnissen nicht so unbegründet sein, als es auf den ersten Blick scheint. Eine für den Augenblick genügende Theorie, wie die der Schwere oder die des Lichtes, kann Ergebnisse voraussagen, welche die mit passenden Hülfsmitteln angestellten Versuche bestätigen müssen. Die erwähnten Mängel der Lehre von dem Gleichgewichte und der Bewegung der Flüssigkeiten bedingen es, dass hier nicht die Theorie die Erfahrung beherrscht, sondern umgekehrt die Beobachtung Verbesserungscoëfficienten der theoretischen Ausdrücke liefern muss, die gewissermaassen die Krücken der allgemeinen ungenügenden Herleitung bilden und einen nur unvollkommenen Gang selbst unter den günstigsten Nebenbedingungen möglich machen [1]).

[1]) Jeder in einer Formel vorkommende Coëfficient, dessen Zahlenwerth erst durch Versuche bestimmt werden muss, entspricht der Resultante der Einflüsse einer gewissen Summe von Bedingungen, welche die Theorie gar nicht oder nur unvollständig berücksichtigt hat. Er zeigt daher unmittelbar an, dass diese nicht genügt. Man pflegt auch solche Coëfficienten ohne Weiteres Constanten oder unveränderliche Erfahrungswerthe zu nennen. Dieses ist jedoch im Allgemeinen nicht richtig, da ihnen ein variabler oder wechselnder Werth zukommen kann, sowie z. B. Bedingungsglieder vorhanden sind, deren Wirkung zu einer Zeit von unmerklicher, zu einer andern dagegen von merklicher Grösse wird, die also besondere Functionen der Zeit darstellen. Wir werden sehen, dass solche Fälle gerade im Thierkörper häufig auftreten.

§. 8. Bleibt es auf diese Weise unentschieden, ob man je im Stande sein wird, eine vollkommen befriedigende Einsicht in das wahre Wesen der Saftbewegungen der lebenden Körper zu gewinnen, so gestattet doch schon der gegenwärtige Zustand der Physik zahlreiche annähernd gültige Anwendungen, die der medicinischen, wenn auch nicht der naturwissenschaftlichen Physiologie [1]) genügen. Es handelt sich hierbei nicht um den Anachronismus, die Rechnungen, welche die Jatromathematiker des siebzehnten und des achtzehnten Jahrhunderts nicht selten mit vielem Scharfsinn und grosser mathematischer Kenntniss, aber meist nach willkürlichen Grundbedingungen durchführten, in dem Gewande der Gegenwart aufzunehmen. Das Hauptziel besteht vielmehr in dem Gewinne zuverlässiger Ausgangspunkte für die richtige Auffassung der bekannten Erscheinungen und die Entdeckung neuer Untersuchungswege der gesunden und der krankhaften Verhältnisse der Saftbewegungen des Thierkörpers.

§. 9. Denkt man sich, der kleinste Theil einer jeden Masse bestehe aus unendlich vielen Molecülen, so setzen diese der Verrückung einen weit grösseren Widerstand in den festen, als in den flüssigen Stoffen entgegen. Der allgemeinste Fall, den man in vielen Krystallen und den meisten organischen Geweben antrifft, besteht darin, dass die Entfernungen der einzelnen Theilchen oder die Mittelwerthe der gegenseitigen Abstände unendlich vieler Molecüle nach den verschiedenen Richtungen des Raumes wechseln und daher die Eigenschaft der mechanischen, optischen und thermischen Doppelbrechung bedingen, während die einfache Brechung allseitig gleiche mittlere Entfernungen voraussetzt. Nennt man Molecularkräfte die Einflüsse, welche sich auf die Aenderung der gegenseitigen Abstände der Theilchen beziehen, so lehrt die Erfahrung, dass sie sehr grosse Aequivalente mechanischer Wirkungen überwinden, da sich die wechselseitigen Entfernungen nur um geringe Werthe selbst unter dem Einflusse des kräftigsten Druckes oder Zuges ändern. Die geringe Verschiebbarkeit der Theilchen aber, die den festen Körpern eigen ist, fehlt den flüssigen. Die einzelnen Abschnitte einer Flüssigkeit gleiten daher leichter aneinander hin. Die Form wechselt mithin ohne wesentliche Schwierigkeit und erscheint desshalb unselbständiger. Sie hängt entweder von der Gestalt der Massen, welche die Oberfläche berühren, oder den einwirkenden Kräften oder beiden zugleich ab.

[1]) Siehe den Versuch einer physiologischen Pathologie der Nerven, Abth. I. S. 20.

§. 10. Die Theilchen eines vollkommen elastischen festen Körpers ändern ihre gegenseitigen Entfernungen unter äusseren mechanischen Einflüssen, und zwar meist in ungleichem Grade nach den verschiedenen Raumesrichtungen. Sie kehren in ihre frühere Lage nach dem Aufhören der fremden Einwirkung genau zurück. Dieses ist in einem unvollkommen elastischen Körper nicht der Fall. Man hat eine elastische Nachwirkung, wenn der aufgedrungene Formunterschied nach dem Ende der Druck- oder Zugwirkung allmälig abnimmt. Sie kann daher zuletzt unmerklich werden. Die elastischen Flüssigkeiten unterscheiden sich im Allgemeinen von den elastischen festen Körpern dadurch, dass ihre Elasticität nach allen Richtungen des Raumes gleich gross ausfällt und eine merkliche elastische Nachwirkung in ihnen nicht vorkommt. Ihre Spannkraft besteht vielmehr in der Reaction, die sie äusseren Drucken entgegensetzen und in demselben Maasse, als diese aufhören, siegreich geltend machen, so dass sie sich dann in entsprechendem Grade von Neuem ausdehnen. Das Mariotte'sche Gesetz, das die Spannkraft und die Dichte eines Gases in gleichem und den Rauminhalt desselben in umgekehrtem Verhältnisse des Druckes zunehmen lässt, sagt nur aus, dass sich die mittleren gegenseitigen Entfernungen der Gasmolecüle den Drucken proportional ändern. Die Erfahrungen von Regnault, Despretz und Pouillet lehrten zwar, dass diese Norm ihre strenge Gültigkeit bei hohen Drucken verlieren kann. Diese Ausnahmen berühren aber keinen der in der Physiologie vorkommenden Fälle.

§. 11. Die gewöhnliche mathematische Betrachtung schreibt eine unbedingte Beweglichkeit und eine vollständige Unzusammendrückbarkeit den tropfbaren Flüssigkeiten zu. Man denkt sich dabei, dass ihre Molecüle unregelmässig vertheilt sind, die mittlere Entfernung aller aber, die ein Molecül umgeben, unter jedem Drucke unverändert bleibt [1]). Da aber die Theilchen des Wassers und jeder anderen tropfbaren Flüssigkeit einen gewissen Widerstand ihrer gegenseitigen Trennung entgegensetzen, also eine gewisse Anheftung oder Adhäsion bei der Sonderung und eine gewisse innere Reibung bei dem wechselseitigen Dahingleiten während der Strömung verrathen, da ihnen demgemäss ein gewisser Grad von Klebrigkeit oder Viscosität zukommt, so entspricht schon desswegen die oben erwähnte Erklärung des Wesens einer tropfbaren

[1]) Poisson, Mém. de l'Institut. Tome IX. Paris 1830. 4. p. 6.

Flüssigkeit einem blossen Denkgebilde. Dasselbe wiederholt sich für die Unzusammendrückbarkeit. Diese Annahme genügte den Kenntnissen der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts oder den Zeiten, zu denen JOH. und DAN. BERNOULLI die Hydrodynamik begründeten. Man weiss aber jetzt, dass starke Drucke den Rauminhalt der tropfbaren Flüssigkeiten eben so gut als den der Gase verkleinern. Die Belastung von einer Atmosphäre oder einer Quecksilbersäule von 760 Mm. Höhe vermindert den des Wassers von + 9° C. um 0,0000505. Die Kleinheit dieses Werthes lehrt, welch grossen Widerstand die Molecularkräfte dieser äusseren mechanischen Wirkung entgegensetzen [1]) (§. 9). Innere Moleculareinflüsse können andere Ergebnisse liefern. Kühlt sich z. B. Wasser von 8° C. auf 7° C., also nur um 1° ab, so geben 1,0001216 Raumeinheiten desselben in 1,0000708 über. Die Abnahme beträgt daher schon hier 0,000508.

§. 12. Es kommt in der Lehre von dem Gleichgewicht vor, dass man alle äusseren, auf die Flüssigkeiten wirkenden Kräfte, also auch die Schwere unbeachtet lässt. Die Benutzung der hydrodynamischen Bewegungsgleichungen beschränkt sich in der Regel auf die sogenannte lineare Bewegung oder auf den Fall, dass die Flüssigkeitsfäden einander parallel dahingehen, man also bloss eine Curve einfacher oder doppelter Krümmung als Bahn zu berücksichtigen hat. Es ereignet sich nur ausnahmsweise, dass man die Betrachtung auf die ebene Bewegung oder den Fall ausdehnt, dass zwei Dimensionen der Flüssigkeit in Betracht kommen, und untersucht nie die in der Wirklichkeit vorhandene körperliche Bewegung. Man bedient sich in der Regel der Annahme des Parallelismus der Schichten oder der Voraussetzung, dass alle Molecüle jeder dieser unendlichen dünnen Lagen von gleichem Rauminhalte dieselben Drucke aushalten und die gleichen Geschwindigkeiten besitzen und vernachlässigt auf diese Art alle anderen, als die parallelen Bewegungsrichtungen der Theilchen, mithin jeden schiefen Abfluss und jede Strudel- oder Wirbelbildung. Es wird endlich als eine Folge der sogenannten Stetigkeit oder der

[1]) Man kennt noch nicht die gesetzlichen Beziehungen, die zwischen den Grössen des Druckes und der Volumensabnahme der tropfbaren Flüssigkeiten stattfinden. Die Annahme von RANKINE (Die Fortschritte der Physik im Jahre 1850. 51. Berlin 1855. S. 60), dass die Zusammendrückbarkeit des Wassers in umgekehrtem Verhältnisse zu dem Producte der Dichtigkeit und der Wärme steht, wenn man für diese — 274°,6 C. als Ausgangspunkt wählt, bedarf der Bestätigung.

Continuität der Flüssigkeiten angesehen, dass die Masse eines unendlich kleinen rechtwinkligen Flüssigkeitsparallelepipeds immer noch dieselbe bleibt, wenn auch die Winkel in schiefe während der Bewegung übergehen [1]). Man vernachlässigt dabei unendlich kleine Unterschiede höherer Ordnung.

§. 13. Der Werth und die Bedeutung der Fehlergrössen, welche diese naturwidrigen Annahmen einführen, richten sich nach der Beschaffenheit der Aufgabe und den Forderungen, die man für die Genauigkeit stellt. Die groben Annäherungen, mit denen sich die medicinische Physiologie in den meisten Fällen begnügen kann, machen die ausgedehntesten Anwendungen der aus jenen Voraussetzungen entwickelten Gleichungen möglich.

§. 14. Eine nicht zusammendrückbare, in ihren Theilchen unbedingt bewegliche und von keiner äusseren beschleunigenden Kraft [2]) getriebene, also schwerlose Flüssigkeit kann nur dann die Gleichgewichtslage bewahren, wenn jedes einzelne Theilchen mit derselben auf jedes unendliche kleine Element senkrechten Druckgrösse von allen umgebenden getroffen wird und daher auch denselben Druck nach dem NEWTON'schen Grundsatze der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung wiedergibt. Stellt man sich die Flüssigkeitstheilchen als stetig, continuirlich oder unmittelbar zusammenliegend vor, so werden sich die gleich und entgegengesetzt gerichteten Drucke zweier einander diametral gegenüberliegender Nachbartheilchen für die Verschiebung des in Betracht gezogenen Theilchens aufheben.

§. 15. Ein jedes unendlich kleine Element der Wand eines beliebig gestalteten Flüssigkeitsbehälters erleidet den gleichen senkrechten Druck, der auf dem ihm benachbarten Flüssigkeitselemente aus irgend einem Grunde lastet. Der Gesammtdruck oder ab-

[1]) DIRICHLET (Abh. der Gesellsch. der Wissenschaften zu Göttingen Bd. VIII. Göttingen 1860. 4. S. 10) ersetzt diese EULER'sche Erklärung durch die, dass diejenigen Punkte, welche eine geschlossene Fläche im Anfange bilden, sie auch zu jeder späteren Zeit darstellen und jeder ursprünglich innerhalb oder ausserhalb derselben gelegene Punkt eine ähnliche Lage in Bezug auf die neue Fläche einnimmt.

[2]) Hat eine in jedem Augenblicke gleichförmig thätige Kraft während eines ersten Zeitelementes gewirkt, so würde die Masse die am Ende desselben gewonnene Veränderung auch während des zweiten Zeitelementes nach dem Grundsatze der Trägheit fortsetzen, wenn der Einfluss der Kraft aufhörte. Ist diese aber noch thätig, so wird sie die Veränderung vergrössern und so eine Beschleunigung erzeugen. Die Wirkungen einer beständigen Kraft können also nur dann mit der Zeit gleichförmig wachsen, wenn die noch vorhandenen Widerstände die Beschleunigung aufzehren.

solute Druck, den ein ebenes Wandstück auf diese Weise erfährt, ist der Flächenausdehnung desselben proportional. Er gleicht also dem Producte von dieser und einer gewissen Druckhöhe, wenn alle Drucke senkrecht wirken und daher einander parallel dahingehen. Lasten äussere Drucke auf einer oder auf mehreren Oeffnungen eines die Flüssigkeit allseitig umschliessenden Behälters, so pflanzen sie sich nach allen möglichen Richtungen innerhalb einer unbedingt beweglichen Flüssigkeit ohne Verlust fort. Sie wirken daher auch auf die sämmtlichen Punkte der Behälterwände mit unveränderter Grösse ein. D'ALEMBERT legte diesen Satz der ungeschwächten Fortpflanzung der Pressungen in Flüssigkeiten oder den schon Archimedes bekannten Grundsatz der Gleichheit des Druckes [1]) der Hydrostatik zum Grunde [2]), weil ihm die blosse unbedingte Beweglichkeit der flüssigen Theilchen im Gegensatze zu dem Zusammenhange der festen keinen zu dem Aufbau der Lehre genügenden analytischen Ausdruck lieferte. Da aber der Trennungswiderstand, die innere Reibung und die Zusammendrückbarkeit der tropfbaren Flüssigkeiten nicht Null sind, so ruht auf diese Weise die Lehre von dem Gleichgewichte auf einer der Wirklichkeit nicht entsprechenden Grundlage.

§. 16. JOH. BERNOULLI hob zuerst die allgemeine Gültigkeit des Grundsatzes der virtuellen Geschwindigkeiten hervor. LAGRANGE baute auf ihm, wie die Statik überhaupt, so auch die Hydrostatik auf [3]). Befindet sich eine Anzahl von Punkten unter den gegebenen Bedingungen im Gleichgewicht, so entspricht die

---

[1]) LAMBERT (Nouveaux Mémoires de l'Académie de Berlin 1784. Berlin 1786. 4. p. 302) und LAGRANGE (Mécanique analytique. Nouvelle (seconde) Édition. Tome I. Paris 1811. 4. p. 183—185) versuchten diesen Satz, den man sonst als Axiom ansieht, näher zu beweisen.

[2]) Der Gedanke von POISSON (Mém. de l'Instit. Tome IX. 1830. p. 8), dass die Herstellung der Gleichheit des Druckes eine gewisse endliche, von der Beschaffenheit der Flüssigkeit abhängige Zeit fordert und daher bei rasch wechselnden Aenderungen mangeln kann, findet sich wiedergegeben in G. Th. FECHNER's Repertorium der Experimentalphysik Bd. I. Leipzig 1832. 8. S. 91. 92.

[3]) GALILEI und später DESCARTES und PASCAL machten die erste Anwendung dieses Grundsatzes auf hydrostatische Aufgaben. (Siehe LAGRANGE a. a. O. p. 178. 179). GAUSS (CRELLE, Journ. f. Math. Bd. IV. Berlin 1829. 4. S. 232) bemerkt mit Recht, dass er die ganze Statik in eine mathematische Aufgabe verwandelt und der gesammten Mechanik, also auch der Dynamik zum Grunde liegt, wenn man die Bedingungen der Bewegung auf solche des Gleichgewichtes nach dem später zu erörternden d'Alembert'schen Verfahren zurückführt. Er vertritt alle anderen aufgestellten Principien, wie das der Erhaltung der lebenden Kräfte von HUYGHENS, das der Erhaltung der Bewegung des

virtuelle Geschwindigkeit eines jeden derjenigen der Zeiteinheit zugehörigen Bahnlinie, die er bei einer unendlich kleinen Verrückung unter den gegebenen Bedingungen beschreiben würde, und die virtuelle Bewegung derjenigen Ortsveränderung, die sich dann mit den Bewegungsbedingungen des Systems verträgt. Das virtuelle Moment [1]) ist das Product der Stärke der die Verrückung bedingenden Kraft und der auf die Kraftrichtung projicirten virtuellen Geschwindigkeit ihres Angriffspunktes. Ein System befindet sich aber nach dem Grundsatze der virtuellen Geschwindigkeiten im Gleichgewicht, wenn die Summe der virtuellen Momente seiner einzelnen Kräfte Null wird oder, wie GAUSS [2]) es ausdrückt, keinen positiven Werth annehmen kann, sobald man die eine Bewegungsrichtung als positiv und die entgegengesetzte als negativ ansieht [3]). Der Grundsatz der Gleichheit des Druckes lässt sich hiernach durch eine sehr einfache Formel wiedergeben, wenn man sich die in der Gleichgewichtslage befindliche Flüssigkeit als stetig, unzusammendrückbar und in unausgesetzter Berührung mit der Oberfläche der drückenden Masse denkt [4]).

§. 17. Wirkt eine Anzahl von Kräften auf eine im Gleichgewicht befindliche Flüssigkeit, so erhält sich dieses, wenn sich die Resultanten der Verschiebungen gegenseitig aufheben. Die Widerstände sind dabei als Kräfte entgegengesetzter Richtungen anzusehen. Man kann hier zuerst die Resultante zweier beliebiger Kraftwirkungen, wie in der Statik der festen Körper, aufsuchen, sie dann mit einer neuen Kraft verbinden und so fortfahren, bis

---

Schwerpunktes von NEWTON, das der Flächen von BERNOULLI, EULER und D'ARCY, das der kleinsten Wirkung von MAUPERTUIS und das des kleinsten Zwanges von GAUSS.

[1]) Moment wird hier nicht in dem Sinne der neueren Mechaniker, sondern in dem von GALILEI genommen. Siehe LAGRANGE a. a. O. p. 20 und 29.

[2]) GAUSS in CRELLE Bd. IV. S. 234 und Comment. Soc. Gott. recent. Vol. VII. Gottingae 1832. 4. p. 43.

[3]) Eine andere Auffassungsweise, bei der nicht bloss unendlich kleine, sondern beliebig grosse Bewegungen in Betracht gezogen und die Tangenten der Curven der Wege und die Drehungsmomente berücksichtigt werden, entwickelte F. SCHWEINS, Perfecta solutio problematis de principio virtualis celeritatis. Heidelbergae 1843. 4.

[4]) Sind $q, q', \ldots$ die Oberflächen der unmittelbar gedrückten Stellen der Flüssigkeit, $p, p', \ldots$ die entsprechenden Druckgrössen und $\delta p, \delta p' \ldots$ die projicirten virtuellen Geschwindigkeiten, so hat man:

$$pq\delta p + p'q'\delta p' + \ldots = 0 \qquad (1)$$

wo δ als Variationszeichen statt des gewöhnlichen Zeichens eines totalen Differentials d nach dem Vorgange von LAGRANGE gewählt ist, weil die unendlich kleine Verschiebung nicht bloss auf einer gegebenen, sondern auf einer beliebigen Curve vorgehen kann.

nur noch eine Kraftwirkung übrig bleibt. Diese muss im Falle des Gleichgewichtes mit der Endresultante an Grösse übereinstimmen, ihr dagegen in der Richtung entgegengesetzt sein.

§. 18. Betrachtet man einen Punkt der Flüssigkeit, dessen Ort durch drei in der Regel rechtwinklig gewählte Coordinaten bestimmt ist, so gewährt es eine grössere Uebersichtlichkeit, wenn man jede der wirkenden Kräfte nach den Richtungen der drei Coordinatenachsen zerlegt. Ist die Wirkung einer dieser Kräfte nach der Richtung einer der Coordinatenachsen unabhängig von der nach den beiden anderen, so fordert das Gleichgewicht, dass sich die Summe der Wirkungen der Zerlegungen nach jeder einzelnen der drei Raumcoordinaten für sich aufhebt oder Null wird [1]). Findet dagegen jene Unabhängigkeit nicht statt, so genügt die gegenseitige Ausgleichung der Gesammtsumme aller Zerlegungen für die Erhaltung des Gleichgewichtes.

§. 19. BOUGUER zeigte zuerst, dass die von NEWTON und die von HUYGHENS aufgestellten Gleichgewichtsbedingungen der tropfbaren Flüssigkeiten von einander abweichende Ergebnisse in einzelnen Fällen liefern, und CLAIRAUT, dass sie auch ohne das Gleichgewicht vorhanden sein können [2]). Der Letztere gab zuerst (1743) eine Formel, welche die wahren Gleichgewichtsbedingungen einer unbedingt beweglichen Flüssigkeit ausdrückt und die Grundlage der Hydrostatik bis zur Gegenwart bildet [3]). Der Gedanken-

---

[1]) Nennt man die Kraftgrössen P', P'' .. und die Winkel, die ihre Richtungen mit der x Achse machen α', α'' ..., so hat man für die Zerlegungen nach der x Achse $P' \cos \alpha' + P'' \cos \alpha'' = \Sigma P\alpha$.

[2]) Siehe das Nähere bei M. JULLIEN, Problèmes de mécanique rationelle. Tome II. Paris 1855. 8. p. 432. 433.

[3]) Sind die rechtwinkligen Coordinaten des in Betracht gezogenen Punktes x, y, z, heisst die Dichtigkeit in diesem Punkte ϱ, p der auf die Flächeneinheit bezogene Druck und X, Y, Z die Summe der Zerlegungen der Kräfte nach den drei Coordinatenachsen, so lautet die Clairaut'sche Gleichung:

$$dp = \varrho\,(X dx + Y dy + Z dz) \qquad (2)$$

wobei die Dichtigkeit ϱ unveränderlich ist oder als eine Function des Druckes dem Mariotte'schen Gesetze entsprechend (§. 10) angesehen wird. Entspricht der gesammte rechte Theil der Gleichung einem vollständigen Differential der Function f (x, y, z), so hat man:

$$p = f(x, y, z) + C, \qquad (3)$$

wo C die Integrationsconstante bezeichnet. Man bestimmt sie, sowie man den Druck in irgend einem Punkte der Flüssigkeit kennt. Die Herleitung der Clairaut'schen Gleichung findet sich z. B. in L. EULERI Opera postuma. Tom. II. Petropoli 1862. 4. p. 552. 553. LAGRANGE, Mécanique analytique. Tome 1. p. 185—187 und p. 197, und dass die Bedingung auch für elastische Flüssigkeiten gilt p. 216. 217. A. KUNZECK,

gang von CLAIRAUT fusst auf dem Grundsatze der Gleichheit des Druckes (§. 15). Die jetzt gewöhnliche Herleitung aus der Betrachtung des Druckunterschiedes auf zwei einander parallelen und ebenen Flüssigkeitsflächen rührt von EULER her. Das Gleichgewicht kann in der Wirklichkeit nur stattfinden, wenn die eine Seite der Gleichung einem vollständigen Differential entspricht und daher eben so integrabel ist, als die andere, die nur das Differential des Druckes enthält.

§. 20. Jede Fläche einer solchen im Gleichgewichte befindlichen Flüssigkeit, deren sämmtliche Punkte denselben Druck aushalten, heisst nach CLAIRAUT [1]) eine Niveaufläche oder eine Fläche gleichen Druckes. Darf man die freie Oberfläche einer Flüssigkeit als unbelastet oder als in allen Punkten gleichmässig belastet ansehen, so bildet sie desshalb auch eine Niveaufläche. Zwei Niveauflächen können sich nicht durchschneiden oder keinen Punkt überhaupt gemeinschaftlich haben, so lange man die in der Wirklichkeit möglichen Fälle im Auge behält [2]). Die Resultante der auf jeden Punkt einer Niveaufläche wirkenden Kräfte steht auf jenem senkrecht [3]). Sind die Kräfte, welche auf die Flüssigkeitstheilchen

---

Studien aus der höheren Physik. Wien 1856. 8. S. 251—255. DUHAMEL, Lehrbuch der reinen Mechanik. Uebers. von Wagner. Braunschweig 1853. 8. S. 175—177. Herleitungen aus den Wechselwirkungen der Molecüle und weitere Folgerungen geben noch IVORY, Phil. Transact. 1834. P. II. p. 493—495. NAVIER, Mém. de l'Institut. Tome VI. Année 1823. Paris 1827. 4. p. 391—396 und POISSON, Ebendas. Tome IX. p. 1—19, und dann Berechnung der inneren Drucke p. 24—50, des Gleichgewichts der Trennungsfläche zweier Flüssigkeiten p. 51—68 und der Verhältnisse der freien Oberfläche p. 68—88. Vgl. auch POISSON, Nouvelle Théorie de l'action capillaire. Paris 1831. 4. p. 282—287. Ueber das Mathematische dieser in der Mechanik mehrfach vorkommenden Gleichungsform siehe A. A. COURNOT, Elementarb. der Theorie der Functionen oder die Infinitesimalanalysis. Bearb. von C. H. Schnuse. Darmstadt 1845. 8. S. 408. 409.

[1]) Da hier p constant, also dp = 0 ist, so gibt (2)

$$X dx + Y dy + Z dz = 0 \qquad (4)$$

als Gleichung der Niveaufläche. Diese kann auch eine isotherme Fläche in der Wärmelehre ausdrücken.

[2]) Folgt unmittelbar aus (4).

[3]) Theilt man (4) durch $ds\sqrt{X^2+Y^2+Z^2} = ds\,M$, so erhält man

$$\frac{X}{M}\frac{dx}{ds} + \frac{Y}{M}\frac{dy}{ds} + \frac{Z}{M}\frac{dz}{ds} = 0.$$

Nun sind M die Resultante der Kräfte, $\frac{X}{M}$, $\frac{Y}{M}$ und $\frac{Z}{M}$ die Cosinus der Winkel derselben mit den Coordinatenachsen und $\frac{dx}{ds}$, $\frac{dy}{ds}$, $\frac{dz}{ds}$ die Cosinus der Winkel der Coordinatenachsen mit dem Curvenelemente ds der Niveaufläche. Da aber die Summe der

drücken, nach einem festen Mittelpunkte gerichtet, so bildet die Gleichgewichtsform der Flüssigkeit eine Kugel, die aus concentrischen Niveauschichten von unter einander ungleicher Dichtigkeit besteht, wenn diese nicht in der ganzen Flüssigkeit beständig ist [1]), man also eine elastische oder keine gleichartige tropfbare Flüssigkeit zum Grunde legt. Hat sich dann das Gleichgewicht hergestellt, so müssen alle Punkte einer und derselben Niveauschicht die gleiche Wärme besitzen, vorausgesetzt dass die Dichtigkeit der elastischen Flüssigkeiten eine Function des Druckes ist, wie es das Mariotte'sche Gesetz (§. 10) fordert [2]).

§. 21. Da jede in der Wirklichkeit vorkommende Flüssigkeit dem Einflusse der Schwere unterworfen bleibt, so wird sie jedenfalls wenigstens von einer beschleunigenden Kraft (§. 14, Anm. 2) beherrscht. Denkt man sich, dass diese allein wirkt, so lehrt dann die Gleichgewichtsgleichung, dass der Druck an einer beliebigen Stelle der Flüssigkeit nur von der Höhe des betrachteten Punktes über der durch den tiefsten Punkt gelegten wagerechten Ebene abhängt. Die Flächen gleichen Druckes stehen auf der Verlängerung eines jeden Erdhalbmessers senkrecht, also wagerecht, wenn man den schwach gekrümmten Bogen mit der wagerechten Tangente zusammenfallen lässt. Da man dann die Schwererichtungen als parallel für die gewöhnlichen Erdkörper ansieht, so bildet auch die Gleichgewichtsfläche einer nicht zu grossen Flüssigkeitsmasse, also auch der Flüssigkeitsspiegel (§. 20), eine wagerechte Ebene. Der Schwerpunkt liegt dann so tief als möglich [3]). Die einzelnen Flächen gleichen Drucks haben dieselbe Dichtigkeit in einer unzusammendrückbaren Flüssigkeit. Sie wächst mit dem Drucke in einer elastischen und nimmt dann entgegengesetzt wie die Höhe des betrachteten Punktes über der wagerechten Grundebene zu, weil die Wärme in der ganzen Ausdehnung einer jeden einzelnen Schicht die gleiche ist, so lange das Mariotte'sche Gesetz seine Anwendung findet [4]).

Produkte der beiderseitigen Cosinuswerthe Null ist, so muss die Resultante auf der Fläche in jedem der betrachteten Punkte senkrecht stehen.

[1]) Siehe z. B. Francoeur a. a. O. p. 427. 428.

[2]) Duhamel a. a. O. 178. 179.

[3]) Einen einfachen Beweis dieses Satzes siehe z. B. bei Ch. Dupin, Géométrie et Mécanique des arts et métiers. Tome III. Paris 1826. 8. p. 174. 175. Auf die theoretisch möglichen Ausnahmen kommen wir später zurück.

[4]) Wirkt die Schwerkraft allein, so wird $X = Y = 0$ und $Z = -g$ oder gleich der negativen Beschleunigung der Schwere, wenn man die in der Schwererichtung dahin-

§. 22. Das Gleichgewicht einer Flüssigkeitsmasse wird nicht gestört, wenn man sich ein Stück derselben in der Mitte herausgeschnitten und die Randbegrenzungen durch Wände von hinreichendem Widerstande, die also den nöthigen Gegendruck liefern, ersetzt denkt. Diese von DAN. BERNOULLI eingeführte Betrachtungsweise lehrt zunächst, dass sich eine und dieselbe Flüssigkeit, die in zwei senkrecht emporgehenden Schenkeln über einem gemeinschaftlichen Behälter aufgeschichtet ist, im Gleichgewichte befindet, wenn die beiden ebenen Flüssigkeitsspiegel in derselben Höhe über der wagerechten Grundfläche stehen und man die durch die Wandanziehung bedingten Störungen vernachlässigen kann. Dieser Satz gilt für jede zweischenkelige Röhre, die Querschnitte der einzelnen Röhrenstellen mögen sich zu einander wie sie wollen verhalten.

§. 23. Man nennt das Gewicht des Einheitsvolumens eines Körpers die Eigenschwere desselben. Sie entspricht dem Producte der auf eine gewisse willkürliche Einheitsdichtigkeit, z. B. des Wassers, bezogenen Dichtigkeit und der Beschleunigung der Schwerkraft. Lässt man die Aenderungen, welche diese an den verschiedenen Punkten des Erdballes erleidet [1]), unbeachtet, so wechselt hiernach die Eigenschwere in gleichem Verhältnisse mit der Dichtigkeit. Da aber der Druck eines Flüssigkeitstheilchens mit der Eigenschwere desselben zunimmt, so folgt aus dem Grundsatze der Gleichheit des Druckes, dass eine Anzahl widerstandslos beweglicher, weder mischbarer noch einander chemisch angreifender Flüssigkeiten von verschiedener Eigenschwere ihr Gleichgewicht erst dann finden kann, wenn sie sich nach dem Wachsthume ihrer Eigenschweren oder ihrer mechanischen Dichtigkeiten von oben nach

---

gehende Coordinate z senkrecht von unten nach oben rechnet, sie sich also durch die Schwerewirkung verkleinert. Die Gleichung (2) geht dann in $dp = -\varrho g dz$ über. Daher $p = -\varrho\gamma z + c$, wenn ϱ beständig und $p = -g\int\varrho dz$, wenn ϱ variabel ist. Alle in dem Texte ausgesprochenen Folgerungen ergeben sich aus diesen Gleichungen.

1) Nennt man g die Beschleunigung der Schwerkraft oder die durch sie am Ende der Zeiteinheit gewonnene Geschwindigkeit oder den doppelten Werth des vermöge der Wirkung derselben in der ersten Zeiteinheit durchlaufenen Fallraumes, wie man ihn aus den Pendelbeobachtungen für den Aequator und den Meeresspiegel berechnet hat (9,808795 Meter für die Einheit der Sexagesimalsecunde) und g' denselben Werth für einen Ort, der unter der geographischen Breite β liegt, so hat man, abgesehen von untergeordneten, von der Abplattung der Erde und der Höhe des Ortes über dem Meeresspiegel herrührenden Verbesserungen, $g' = g\,(1 + 0{,}00569 \sin^2\beta)$. Siehe LAPLACE, Mécanique céleste. Oeuvres Tome II. Paris 1843. 4. p. 176 und Tome IV. Paris 1845. 4. p. 328.

unten mit wagerechten Begrenzungsflächen (abgesehen von der Wandanziehung) geordnet haben. Flächen gleichen Druckes können nur unter dieser Bedingung hergestellt werden. Die oberste Niveaufläche einer jeden Flüssigkeitsart hat dann den in allen Punkten gleichförmigen Druck aller darüberliegenden Flüssigkeitsarten und die Grundebene den der gesammten Flüssigkeitsmengung auszuhalten.

§. 24. Befinden sich zwei Flüssigkeiten, die sich weder mischen, noch chemisch zersetzen, in einer weiten zweischenkeligen und senkrecht aufgestellten Röhre, so fordert das Gleichgewicht, dass sich ihre hydrostatischen Druckhöhen oder die senkrechten Höhen ihrer wagerechten Spiegel über der wagerechten Grundebene umgekehrt wie ihre Eigenschweren verhalten, weil nur dann die Bodenfläche und anderseits die beiden oberen Grenzflächen der Flüssigkeiten dieselbe Druckgrösse in jedem Punkte auszuhalten haben. Denkt man sich, der eine Schenkel führe Blut von der Eigenschwere 1,05 und der andere Quecksilber von einer solchen von 13,596, so wird die Quecksilbersäule 12,95 oder nahezu 13 Mal kürzer als die Bluthöhe ausfallen. Steht das Quecksilber auf gleicher Höhe in einer zweischenkeligen und überall gleich weiten Röhre und wirkt der Blutdruck auf die eine Oberfläche desselben, so wird das Quecksilber in dem einen Schenkel um ebensoviel fallen, als in dem anderen steigen, wenn die Röhrenquerschnitte überall gleich sind. Der hydrostatische Druck, den das Blut ausübt, gleicht dann der Summe der beiderseitigen Flüssigkeitsverrückungen oder der doppelten Höhe, um die sich das Quecksilber in einem der beiden Schenkel verschiebt. Man kann daher ein Quecksilbermanometer, das man als Hämodynamometer gebraucht, bedeutend kürzer machen, als eine Röhre, in der man das Blut senkrecht emporsteigen lässt, bis die als vollkommen flüssig gedachte Blutsäule ihre grösste Erhebung erreicht, weil ihre hydrostatische Druckhöhe dem Wanddrucke des strömenden Blutes gleicht. Da die Verrückungsgrösse des Quecksilbers in einer überall gleich weiten zweischenkeligen Röhre 26 Mal so klein, als die in der einschenkeligen Blutröhre ausfällt, so lässt sich auf diese Art eine ihrer Kleinheit wegen bequemere und zugleich zuverlässigere Maassvorrichtung herstellen. Handelt es sich aber um die Ermittelung geringer Druckgrössen, so wird man das zweischenkelige Manometer mit Wasser oder einer anderen leichteren Flüssigkeit füllen, um grössere Ausschläge für dieselbe hydrostatische Druckwirkung zu erhalten.

§. 25. Denken wir uns, der Druck, welcher den einen Flüssigkeitsspiegel der zweischenkeligen Röhre hinunter- und daher den anderen emporgetrieben hat, höre plötzlich auf, so kann nicht die Flüssigkeit zu ihrer Gleichgewichtslage ohne Weiteres zurückkehren. Sie muss vielmehr eine Reihe auf- und niedergehender Pendelschwingungen, die sogenannten Eigenbewegungen oder Eigenschwingungen machen, die abwechselnd über und unter die Gleichgewichtslage hinausgehen, weil sie, in dieser angelangt, eine gewisse Geschwindigkeit besitzt, die sie über sie forttreibt. Die Bewegungen würden sich unendlich lange mit gleichen Ausschlägen wiederholen, wenn jeder Verlust an lebendiger Kraft und daher auch an Geschwindigkeit durch die Widerstände und die Uebertragung der Unruhe an Nachbarkörper vermieden würde. Da dieses nicht der Fall ist, so nehmen die Grössen der Auf- und der Niedergänge und die Geschwindigkeit der Unruhe allmälig ab, bis sie endlich unmerklich werden. Man hat hier eine asymptotische Verkleinerung, wie bei einem Pendel, das in einem widerstehenden Mittel schwingt. Die der Zeiteinheit entsprechende Verlustgrösse fällt daher um so geringer aus, je länger die Eigenschwingungen angehalten haben. Ist zuletzt oder von vornherein der Reibungs- oder der Gleitungswiderstand der Wände grösser als die innere Reibung der Flüssigkeit, so geht nur noch der mittlere Theil der letzteren auf und nieder.

§. 26. Die Pendelschwingungen einer solchen in einer zweischenkeligen Röhre enthaltenen Flüssigkeit haben zuerst NEWTON, JOHANNES und vorzugsweise DANIEL BERNOULLI [1]) und, wie wir noch sehen werden, EULER, LAMBERT und BOSSUT beschäftigt. Denkt man sich alle Widerstände der Adhäsion und der Reibung beseitigt und stellt sich vor, das zweischenkelige Cylinderrohr besitze unten einen wagerechten Mitteltheil, mit dem das eine aufsteigende

[1]) Nennt man den ersten Winkel, den das eine aufsteigende cylindrische Röhrenstück mit dem Horizonte bildet, α und den des zweiten β und die Länge der in Pendelschwingungen begriffenen Flüssigkeitssäule l, so finden JOH. und DAN. BERNOULLI (Dan. Bernoulli, Hydrodynamica sive de viribus et motibus fluidorum commentarii. Argentorati 1738. 4. p. 114) dass eine jede Schwingung der Flüssigkeitssäule dieselbe Zeit dauert oder tautochron ist und eben so lange anhält, als die kleinen Schwingungen eines einfachen Pendels von der Länge $\frac{l}{\sin\alpha + \sin\beta}$ oder mit diesen Schwingungen isochron ist. Der Werth wird ein kleinster, die Schwingungen erfolgen also am Schnellsten, wenn $\sin\alpha + \sin\beta$ den grösstmöglichen Werth, nämlich 2 erreicht, die Röhrenstücke also auf dem mittleren wagerechten Theile senkrecht stehen. NEWTON (Philosophiae natu-

Röhrenstück einen ersten und das andere einen zweiten Winkel bildet, so fallen die Schwingungen unter sonst gleichen Verhältnissen am Schnellsten aus, wenn jene beiden Winkel Rechten gleichen. Ist das ganze Röhrensystem überall gleich weit, so fordern die grösseren Schwingungen ebensoviel Zeit als die kleineren. Sie sind, wie man in der Mechanik für das Pendel sagt, tautochron, weil es die gleiche Zeit dauert, bis der Körper in dem tiefsten Punkte anlangt, er möge von einer kleineren oder grösseren Höhe, Abweichung oder Excursion heruntergleiten. Man kann daher die

---

ralis principia mathematica. Ed. III. Londini 1726. 4. p. 363. 364) hatte diesen Fall allein in Betracht gezogen und auch ihm entsprechend $\frac{1}{2}$ gefunden. Man erhält als allgemeine Gleichung:

$$t = \text{arc. sin} \frac{S}{s} \sqrt{\left[\frac{1}{g\ (\sin\alpha + \sin\beta)}\right]} \qquad (5)$$

wo t Schwingungsdauer, S die Anfangsabweichung des Flüssigkeitsspiegels von der hydrostatischen Gleichgewichtslage, die natürlich in dem einen Schenkel der überall gleichweiten zweischenkeligen Röhre eben so gross positiv, als in dem anderen negativ ist, s dieselbe Abweichung, wenn die Geschwindigkeit wiederum Null geworden, g die Beschleunigung der Schwerkraft bezeichnet und l, α und β die frühere Bedeutung haben. (Brandes in Gehler's physikalischem Wörterbuch. Bd. V. Abth. I. Leipzig 1829. S. S. 564. 565.) Die Dauer einer halben Pendelschwingung fordert, wenn man die Vorzeichen unbeachtet lässt:

$$t' = \frac{\pi}{2} \sqrt{\left[\frac{1}{g\ (\sin\alpha + \sin\beta)}\right]} \qquad (6)$$

Nennt man r die Länge eines einfachen Secundenpendels, so findet man für die halbe Schwingungsdauer bei kleinen Excursionen:

$$T = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{r}{g}} \qquad (7)$$

Die Flüssigkeitssäule schwingt also isochron mit einem einfachen Pendel, dessen Länge $\frac{1}{\sin\alpha + \sin\beta}$ ist.

Die Integration der ursprünglichen Differentialgleichung ergibt für die Geschwindigkeit:

$$v = \sqrt{\left[\frac{g\ (S^2 - s^2)}{l}\ (\sin\alpha + \sin\beta)\right]} \qquad (8)$$

Die Schnelligkeit nimmt also mit der Quadratwurzel der Länge der Flüssigkeitssäule ab und erreicht ihren verhältnissmässig grössten Werth, wenn die Röhrenschenkel auf dem Horizonte senkrecht stehen. —

Die Pendelschwingungen der Flüssigkeiten in zweischenkeligen Gefässen von beliebiger oder von bestimmter Gestalt behandelt auch Ch. Bossut, Traité théorique et expérimentale d'hydrodynamique. Nouvelle Édition. Tome I. Paris an IV. p. 405—414. Das Bekanntere findet sich z. B. bei H. W. Brandes, Lehrbuch der Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung fester und flüssiger Körper. Theil II. Leipzig 1818. 8. S. 298—302.

Länge eines einfachen Pendels, dessen Schwingungen gleich lange dauern oder mit denen der Flüssigkeitssäule isochron sind, angeben. Haben die Röhren ungleiche Querschnitte, so bewahren nur die kleinsten, nicht aber die grösseren Schwingungen den Charakter der sich gleich bleibenden Zeitdauer [1]).

§. 27. Diese Eigenschwingungen können zu wesentlichen Irrthümern führen, wenn man z. B. die Manometer zu Bestimmungen der Druckschwankungen des Schlagaderblutes oder der Athemluft benutzt. Greift die neue periodisch wiederkehrende Druckverstärkung ein, so interferirt sie mit der augenblicklieh vorhandenen Pendelbewegung der den Druck anzeigenden Flüssigkeit. Man muss einen positiven Fehler erhalten oder die Druckgrösse zu hoch schätzen, wenn die gleichen Richtungen des zu messenden Druckes und der Pendelbewegung der ihm zunächst entsprechenden Flüssigkeitssäule zusammenfallen und einen negativen, wenn sie entgegengesetzt aufeinander treffen. Wir werden später sehen, dass die Reibung und andere Widerstände der Gefahr solcher Irrungen entgegen arbeiten können, dafür aber auch die Grösse der Ausschläge herabsetzen. Da eine weniger lange Flüssigkeitssäule des zweischenkeligen Manometers die Dauer einer Pendelschwingung abkürzt [2]), so kann man diesen Umstand als Sicherheitsmittel benutzen, wenn die zweite Druckerhöhung der ersten rasch nachfolgt. Man muss es daher auch bei der Untersuchung der periodisehen Stösse des Schlagaderblutes anwenden.

§. 28. Die Flüssigkeitssäule eines Manometers, die den von einer beliebigen Ursache herrührenden Druek einer anderen Flüssigkeit misst, gibt eine äquivalente hydrostatische Druckhöhe, die jenem das Gleiehgewicht hält. Die Grösse derselben steht in umgekehrter Beziehung des Verhältnisses der Eigenschwere der Anzeigeflüssigkeit des Manometers zu der der geprüften Flüssigkeit. Die Zurückführung der Drucke, die von den verschiedensten Bedingungen des Gleiehgewichtes und der Bewegung herrühren, auf solche äquivalente hydrostatische Druckhöhen liefert zunächt eine gleiehförmigere Bezeichnungsweise verschiedener Fälle. Sie erleichtert oft die fernere Behandlung und macht es hin und wieder möglich, hydraulische Fragen dureh die Betrachtung hydrostatischer Wirkungen zu beantworten. Manche Sätze, die der Lehre von dem

---

[1]) Siehe DAN. BERNOULLI, Hydrodynamica p. 118.

[2]) Ergibt sich unmittelbar aus (6).

Gleichgewichte der Flüssigkeiten ausschliesslich anzugehören scheinen, lassen sich dann auf die bewegten Säfte des Thierkörpers mit den nöthigen Einschränkungen übertragen. Der erst durch die Rechnung gefundene Aequivalentwerth heisst die zurückgeführte oder die reducirte Druckhöhe.

§. 29. Der Grundsatz der Gleichheit des Druckes (§. 15) führt zu dem Schlusse, dass die hydrostatische Druckwirkung nur von der Höhe, nicht aber von dem Querschnitte der thätigen Flüssigkeitssäule abhängt. Der dünnste Flüssigkeitsfaden reicht daher zu ihrer Herstellung hin. Da aber der Gesammtdruck (§. 15) dem Producte der hydrostatischen Druckhöhe und der Ausdehnung der gedrückten Oberfläche entspricht, so muss eine dünne, aber hohe Flüssigkeitssäule einen grossen absoluten Druck erzeugen, wenn sie auf eine ausgedehnte Widerstandsfläche mittelst einer unter ihr gelegenen Flüssigkeitsmasse wirkt. Diese von PASCAL [1]) zuerst hervorgehobene Erscheinung, welche dem Baue der hydraulischen oder Bramah'schen Presse, der Réal'schen Presse und des hydrostatischen Blasebalges zum Grunde liegt, macht sich bisweilen in den Saftwirkungen des lebenden Körpers ebenfalls geltend.

§. 30. Befindet sich eine nur von der Schwere beherrschte und in einem Behälter eingeschlossene Flüssigkeit im Gleichgewicht, so wird jeder ebene Wandtheil des Gefässes von dem Gewichte eines gleichbeschaffenen Flüssigkeitsprisma gedrückt, das die Oberfläche jenes Wandstückes zur Grundfläche und den senkrechten Abstand des Schwerpunktes desselben von der ebenen Fläche des Flüssigkeitsspiegels (§. 20) zur Höhe hat. Dieser Satz folgt daraus, dass alle einzelnen auf die Flächenelemente stattfindenden Drucke senkrecht und daher wechselseitig parallel sind und der Schwerpunkt dem Durchgangsorte der Resultante solcher parallelen Wirkungen entspricht. Man kann daher ein schiefes Wandstück ohne Druckänderung beliebig drehen, wenn nur der Schwerpunkt seinen früheren Ort beibehält. Der Druck auf die unterhalb desselben befindlichen Elemente ist grösser und der auf die oberen kleiner, als der auf das Wandelement, welches dem Schwerpunkte entspricht. POISSON [2]) nannte noch den Mittelpunkt des Druckes den Angriffspunkt der Resultante aller auf das Wandstück wirkenden Druckkräfte. Er liegt tiefer als der Schwerpunkt, wenn die Wand schief steht

[1]) BLAISE PASCAL, Oeuvres Tome IV. À la Haye 1709. 8. p. 224—226.

[2]) POISSON, Mécanique. Seconde Édition. Tome II. p. 567.

und ändert seine Lage, wenn sie ohne Verrückung ihres Schwerpunktes gedreht wird [1]).

§. 31. Ist das Wandstück gekrümmt, so wirken natürlich die Druckkräfte, welche die einzelnen Elemente desselben belasten, nicht parallel. Man kann sie nicht immer auf eine, stets aber auf zwei Kräfte zurückführen und die Aufgabe demgemäss zu lösen suchen [2]).

§. 32. Der Gesammtdruck, den der ebene Boden eines Behälters in Folge der Wirkung der eingeschlossenen, nur von der Schwere getriebenen Flüssigkeit zu tragen hat, hängt bloss von der Ausdehnung der Bodenfläche und der in allen Punkten gleichen Druckhöhe ab. Die Form des Gefässes bleibt daher in dieser Hinsicht gleichgültig. Stimmen die Werthe der Oberfläche des ebenen Bodens und der senkrechten Entfernung des Flüssigkeitsspiegels von demselben überein, so hat man den gleichen Bodendruck, aber die mannigfachsten Unterschiede der Volumina und daher auch der Gewichte der eingeschlossenen Flüssigkeit, je nachdem sich das Gefäss nach oben verjüngt oder in dieser Richtung erweitert, die Querschnitte überall gleich bleiben oder abwechselnd zu- und abnehmen. Dieses von STEVIN [3]) zuerst gefundene und 1608 bekannt gewordene hydrostatische Paradoxon führt zunächst zu dem Schlusse, dass eine Flüssigkeit einen grösseren absoluten Druck auf den ebenen Boden, als dem Gewicht ihrer Masse entspricht, ausübt, wenn der sie einschliessende Behälter einen kleineren Querschnitt als jene Bodenfläche an irgend einer Stelle besitzt. Es ergibt sich ferner, dass ein gerader, eben abgestutzter Kegel, der mit Flüssigkeit vollkommen gefüllt worden, seinen grössten Bodendruck liefert, wenn er auf seiner Grundfläche, und den kleinsten, wenn er auf seiner abgestumpften Fläche steht. Dasselbe wiederholt sich für tonnenförmige Gestalten mit ungleich grossen ebenen Boden- und Deckflächen oder Begrenzungen, die man ebenen Flächen für einzelne annähernde Betrachtungen gleichsetzen kann, wie z. B. in den zwischen zwei Klappenstellen befindlichen Anschwellungen von Saugaderstämmen, die mit einer flüssigen oder festen Masse strotzend gefüllt sind.

---

[1]) DUHAMEL a. a. O. Th. II. S. 189.

[2]) POISSON a. a. O. Tome II. p. 570. DUHAMEL a. a. O. Th. II. S. 191. 192.

[3]) Siehe LAGRANGE, Mécanique analytique. Nouvelle Édition. Tome I. Paris 1811. 4. p. 176—178.

§. 33. Soll jedes Wandelement eines Flüssigkeitsbehälters mechanisch unverändert bleiben, so muss es hinreichende Widerstandskraft besitzen, um den Druck der seinem Orte entsprechenden, wirklichen oder zurückgeführten hydrostatischen Druckhöhe auszuhalten. Fehlt diese Bedingung einer Summe von Wandelementen, so werden sie nach Maassgabe ihrer elastischen Eigenschaften verrückt. Das entsprechende Wandstück ändert dabei seine Form. Es dehnt sich aus oder reisst ein, je nachdem es nur gebogen und zugleich verlängerbar oder sein Festigkeitsmodul überschritten wird, sowie eine der Druckgrösse entsprechende Zugkraft einwirkt. Die Theorie kann den hierbei auftretenden Gestaltenwechsel in einzelnen Fällen im Voraus angeben.

§. 34. Man hat zunächst einen Fall, der eine gewisse Berühmtheit in der Geschichte der Mathematik erreicht hat, jedoch diese Wissenschaft mehr als die Physik und die Physiologie angeht. Er betrifft die zuerst von JACOB und später von JOHANNES BERNOULLI (1692 und 1695) untersuchte Segelcurve. Man denke sich z. B. eine rechteckige biegsame und unausdehnbare Bodenfläche, von der zwei einander gegenüberstehende Seiten parallel und in derselben Ebene durch ihre Befestigung erhalten werden, während die zwei anderen an zwei senkrechten Wänden ohne Adhärenz haften. Sie sei mit einer schweren im Gleichgewichte befindlichen Flüssigkeit belastet. Ihr senkrechter Durchschnitt nimmt dann die Form der sogenannten Segelcurve an [1]. Die Benennung rührt davon her, dass der in ein Segel blasende Wind ähnliche Bedingungen möglicher Weise erfüllt und die Aufgabe zuerst in diesem Gewande untersucht worden [2]. Die Differentialgleichung der Segelcurve fällt

---

[1] Siehe z. B. JULLIEN a. a. O. Tome II. p. 392 und p. 520.

[2] Ist ein viereckiges Segel so befestigt, dass zwei einander gegenüberliegende Seiten wechselseitig parallel und senkrecht auf die Windrichtung bleiben, so gibt ihm die durch den Wind erzeugte Spannung eine solche Form, dass jeder senkrechte Durchschnitt eine eigenthümliche Curve, die Segelcurve oder die Lintearia bildet. Sie lässt sich durch die Verminderung ihrer Ordinatenlänge um eine unveränderliche Grösse (siehe z. B. A. A. COURNOT, Elementarlehrbuch der Theorie der Functionen. Bearbeitet von C. H. Schnuse. Darmstadt 1845. 8. S. 398. 399) auf die Gleichung der elastischen Linie oder, richtiger gesagt, einer aus der Gruppe der elastischen Linien oder derjenigen Formen zurückführen, die ein elastischer, überall gleichartiger und befestigter Faden unter dem Einflusse einer Gewichtsbeschwerung annimmt. (Eine ausführliche Behandlung dieser elastischen Linien findet sich bei EULER, Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes. Lausannae et Genevae 1744. 4. p. 245—310 und eine Eintheilung derselben in neun Klassen je nach den Constantenwerthen

unter gewissen Nebenbedingungen mit der der elastischen Linie oder der Kettenlinie zusammen. Ist ein mit einer schweren Flüssigkeit gefüllter Schlauch an seinen beiden Endpunkten in

---

p. 255—266.) Der Krümmungshalbmesser steht hier in jedem Punkte in umgekehrtem Verhältnisse zu der entsprechenden Ordinate. Macht man fernere Einschränkungen (siehe z. B. JULLIEN a. a. O. Tome II. p. 520. 521), so geht die Gleichung der Segelcurve über in:

$$y = \frac{a}{2}\left(e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}}\right) \qquad (9)$$

wo x und y die laufenden Coordinaten, a das Verhältniss der senkrecht auf die Erzeugungslinie der Aufblähungscurve betrachteten Segelspannung zu dem Einheitsdrucke auf eine ebene Fläche und e die Basis der natürlichen Logarithmen bezeichnet. (9) ist aber die Gleichung der Kettenlinie oder derjenigen Curve, die ein schwerer, gleichartiger und vollkommen biegsamer Faden annimmt, wenn er an seinen beiden Endpunkten aufgehängt wird. Die allgemeinsten Formen der Differentialgleichungen der Ketten- und der elastischen Linie finden sich bei LAGRANGE, Mécanique analytique. Nouvelle Édition. Tome I. Paris 1814. p. 137. 138 und p. 151—154.

Diese Linien spielen eine bedeutende Rolle in den isoperimetrischen Aufgaben in weiterem Sinne des Wortes, in denen man die Curve bestimmt, die den grössten oder den kleinsten Werth der Länge, des Flächeninhaltes oder des Volumens unter den gegebenen Nebenbedingungen liefert. Die Auflösung wird nach den Regeln der Variationsrechnung gefunden. Wir wollen einzelne, auf diese Weise erhaltene Ergebnisse, die sich für physiologische Fragen verwerthen lassen, hier zusammenstellen.

Diejenige Linie, die unter allen zwischen denselben Punkten zweier rechtwinkeligen Grenzordinaten dahingehenden Curven von gleicher Länge oder gleicher Flächenbegrenzung mit den Coordinaten den grössten oder den kleinsten Umdrehungskörper gibt, je nachdem ihre Concavität oder ihre Convexität gegen die als Umdrehungsachse dienende Abscisse gerichtet ist, gehört zur Gruppe der elastischen Linien. Diese entspricht auch dem Falle, wo der Schwerpunkt am Höchsten oder am Tiefsten liegen soll. Jeder Bogenabschnitt einer Kettenlinie liegt tiefer, als der irgend einer anderen von denselben Endpunkten begrenzten Curve von gleicher Länge, also die ganze Kettenlinie am Tiefsten. Sie entspricht daher auch derjenigen Curve, deren Schwerpunkt sich am Meisten nach unten befindet, die also das stabilste Gleichgewicht besitzt. Sie kann unter gewissen Bedingungen die Linie bilden, die zwischen zwei Grenzordinaten eingeschlossen eine grössere oder eine kleinere Umdrehungsfläche bei der Umdrehung um die Abscissenachse gibt, als irgend eine andere eben so begrenzte Curve, je nachdem sie ihre concave oder ihre convexe Seite der Abscisse zuwendet. Die Specialisirung des Falles führt endlich noch zu dem schon von den Alten geometrisch bewiesenen Lehrsatze, dass der Kreis die grösste Oberfläche bei gleichem Umfange unter allen in sich geschlossenen Curven darbietet und demgemäss die Kugel den grössten Rauminhalt für dieselbe Oberfläche oder die kleinste Oberfläche bei gleichem Rauminhalte besitzt. Der Würfel hat ebenfalls das grösste Volumen unter allen Parallelepipeden von gleicher Oberfläche. Die ausführlichste Behandlung dieser und verwandter Fragen gibt: G. W. STRAUCH, Theorie und Anwendung des sogenannten Variationscalcüls. Bd. II. Zürich 1849. 8. S. 476. 514. 517. 529. 551.

gleicher Höhe senkrecht aufgehängt, so entscheiden die Nebenbedingungen, ob seine Krümmung der Differentialgleichung eines Kreises, einer gewöhnlichen Segelcurve oder einer Kettenlinie entspricht oder einen noch zusammengesetzteren Ausdruck darstellt [1]).

§. 35. Denkt man sich, ein prismatisches, mit biegsamen und unausdehnbaren Wänden versehenes Gefäss werde senkrecht aufgestellt und mit einer schweren Flüssigkeit gefüllt, so muss jeder Querschnitt desselben die Form eines Kreises annehmen. Der Grundsatz der Gleichheit des Druckes fordert, dass jedes Element eines solchen Querschnittes mit derselben Druckgrösse in senkrechter Richtung belastet sei. Alle Theile ordnen sich dann zu einem Kreise, weil in diesem jeder Halbmesser die senkrechte Druckrichtung für das ihm entsprechende Element der Peripherie angibt [2]). Derselbe Schluss gilt auch für den Fall, dass eine zurückgeführte Druckhöhe thätig ist und alle Elemente der Wandung eines Rohres den gleichen Elasticitätsmodul für die Querrichtung darbieten. Obgleich diese Bedingung nicht mit voller Schärfe für die Gefässe des menschlichen Körpers zutrifft, so muss sie doch annähernd realisirt sein, wenn z. B. die quer zusammengefallene Aorta einer Leiche durch die Einspritzung nahezu rund wird und die von dem bewegten Blute ausgedehnten Gefässe kreisförmige Querschnitte besitzen. Die Form wird dagegen unregelmässiger, wenn atheromatöse Entartungen, Kalkablagerungen oder andere Störungen bedeutende Unterschiede des Elasticitätsmoduls für die verschiedenen Orte desselben Gefässbezirkes erzeugt haben.

§. 36. Die Pressung, die jedes Querschnittselement eines solchen Cylinderrohres auszuhalten hat, wächst mit der unmittelbar thätigen oder mit der zurückgeführten hydrostatischen Druckhöhe. Sie nimmt auch mit der Eigenschwere der Flüssigkeit, sowie die Schwerewirkungen derselben in Betracht kommen, zu. Der Gesammtdruck, den jeder unendlich dünne Querschnitt tragen muss, vergrössert sich nach Maassgabe des Umkreises, also im Verhältnisse des Halb-

---

Kürzere Darstellungen des Wichtigsten finden sich z. B. bei COURNOT a. a. O. S. 392. 399 und F. L. STEGMANN, Lehrbuch der Variationsrechnung. Kassel 1854. 8. S. 180—187. 258—265.

1) Vgl. z. B. CH. BOSSUT, Traité théorique et expérimental de l'Hydrodynamique. Nouvelle Édition. Paris. L'an IV. 8. Tome I. p. 52—56.

2) Man muss nämlich bedenken, dass man jedes Curvenelement mit der Tangente zusammenfallen lassen kann und der Halbmesser des Kreises auf der entsprechenden Tangente senkrecht steht.

messers. Will man ihn für zwei cylindrische Röhren vergleichen, so werden sich die beiden Gesammtdrucke wie die Producte der hydrostatischen Druckhöhe, des Halbmessers des Hohlraumes des Rohres und, wo sie in Betracht kommt, der Eigenschwere der Flüssigkeit verhalten.

§. 37. Die Druckgrösse, mit der ein Wandstück belastet ist, hängt von der auf eine gewisse Einheit zurückgeführten Druckhöhe, der Widerstand dagegen, den es ihr entgegensetzt, von einer Function seiner Dicke vervielfältigt durch eine Function des Festigkeitsmoduls seines Materials ab. Soll also nicht das Gefäss unter dem auf ihm lastenden Drucke bersten, so muss seine Dicke einen gewissen Werth überschreiten, der von dem hydrostatischen Drucke gerade und von dem Coëfficienten der Festigkeit umgekehrt abhängt.

§. 38. Schwebt ein Körper innerhalb einer schweren, im Gleichgewichte befindlichen Flüssigkeit, so lassen sich alle auf ihn wirkenden Drucke nach zwei Richtungen, senkrecht und längs einer Horizontalebene, zerlegen. Die wagerechten Wirkungen heben sich auf, weil gleiche und entgegengesetzt gerichtete Drucke zwei Elemente der Horizontalebene, die einander diametral gegenüberliegen, angreifen. Die Betrachtung eines senkrechten Schnittes dagegen führt zu anderen Ergebnissen. Ein oberes Element trägt einen Flüssigkeitsfaden, dessen Druckhöhe durch den senkrechten Abstand des Elementes von dem wagerechten Flüssigkeitsspiegel (§. 20) gemessen wird. Der Grundsatz der Gleichheit des Druckes (§. 15) ergibt aber, dass ein unteres, jenem senkrecht gegenüberstehendes Element von einer Flüssigkeitssäule gepresst wird, deren Druckhöhe der senkrechten Entfernung des Elementes von dem Flüssigkeitsspiegel ebenfalls gleicht, mithin um den senkrechten Abstand der beiden Elemente grösser ausfällt. Der untere kräftigere Druck wird daher den Körper emporzuführen suchen und so den A u f t r i e b erzeugen, dem jede eingetauchte Masse unterworfen ist. Da die elementaren Wirkungen desselben senkrecht, mithin parallel sind und sich auf die sämmtlichen Elemente der Figur der eingetauchten Masse erstrecken, so geht ihre Resultante durch den Schwerpunkt der Körpergestalt (§. 30) und zwar senkrecht der Schwerlinie entsprechend dahin.

§. 39. Die Thätigkeitsrichtung des Auftriebes ist der der Schwere entgegengesetzt. Der eingetauchte Körper kann daher nur mit dem Unterschiede beider zu fallen suchen. Die Gesammtgrösse des Auftriebes entspricht aber der unendlichen Menge von Flüssig-

keitssäulen, die sich von je einem oberen Elemente zu dem in senkrechter Richtung entsprechenden unteren der versenkten Masse hinziehen, also der entgegengesetzt gerichteten Schwerewirkungen eines Flüssigkeitskörpers von demselben Rauminhalte, wie der des untergetauchten. Man erhält hieraus den Archimedischen Grundsatz [1], dass ein in einer Flüssigkeit versenkter Körper ebensoviel an Gewicht verliert, als er Flüssigkeit verdrängt [2]. Dieses gilt noch, wenn auch der Körper aus der schwereren Flüssigkeit theilweise hervorragt. Der Oberdruck in der durch den wagerechten Flüssigkeitsspiegel bezeichneten Schwimmebene ist von Seiten der Flüssigkeit Null. Der Auftrieb wird daher durch die Summe der Flüssigkeitssäulen gemessen, die von der Höhe der Spiegelebene bis zu jedem Elemente der Unterfläche des schwimmenden Körpers reichen. Er entspricht mithin einem Flüssigkeitsvolumen, das dem

---

[1]) Wie ARCHIMEDES (Oeuvres d'Archimède traduits littéralement avec un commentaire par J. PEYRARD. Paris 1807. 4. p. 275) die Gleichheit der mechanischen Momente als selbstverständliche Norm des Gleichgewichtes eines zweiarmigen Hebels seinen in den Untersuchungen der Parabelflächen gipfelnden Forschungen über das Gleichgewicht und die Schwerpunkte der Flächen zum Grunde legt, so geht er (p. 368) in seinen Betrachtungen über die von einer Flüssigkeit getragenen Körper von dem einfachen Grundsatze aus, dass jedes der ununterbrochen neben einander liegenden Flüssigkeitstheilchen den Druck der über ihm befindlichen auszuhalten hat und sogleich von jedem anderen stärkeren verdrängt wird. Dieses genügt ihm, drei Folgerungen von allgemeiner Bedeutung herzuleiten. Die Nothwendigkeit der allseitigen Gleichheit des Druckes im Zustande des Gleichgewichtes bedingt es, dass jede ruhende Flüssigkeit eine Kugeloberfläche besitzt (p. 369). Ein leichterer Körper muss so tief in eine schwerere Flüssigkeit einsinken, dass ein dem eintauchenden Volumen desselben gleiches Flüssigkeitsvolumen ebensoviel wiegt, als die Gesammtmasse des Körpers (p. 374). Ein in einer leichteren Flüssigkeit untergesunkener Körper verliert ebensoviel an Gewicht, als ein gleiches Flüssigkeitsvolumen wiegt (p. 376). Eine nähere Analyse der Voraussetzungen, aus denen ARCHIMEDES das Gleichgewicht der Flüssigkeiten und der auf ihnen schwimmenden Körper ableitet, findet sich bei LAGRANGE, Mécanique analytique. Nouvelle Édition. Tome I. 1811. p. 174—176. Wie schon PEYRARD (a. a. O. p. XXVIII) bemerkt, hat ARCHIMEDES die Benutzung der Exhaustionsmethode oder der Gleichstellung eines um- oder eingeschriebenen Polygons von unendlich vielen unendlich kleinen Seiten mit der Curve vermieden. Erst sein Commentator EUTOCIUS gebrauchte diese Betrachtung. Die Behauptung z. B. von BREWSTER (Leben Newton's. Uebers. von Goldberg. Leipzig 1833. 8. S. 147), dass ARCHIMEDES sie ohne Weiteres für die Parabel benutzt, ist daher nicht richtig.

[2]) Da das Einsinken von der leichten gegenseitigen Beweglichkeit der flüssigen Theilchen herrührt, so glaubte sich LAMBERT (Nouveaux Mém. de l'acad. de Berlin. Tome III. 1772. Berlin 1774. 4. p. 36. 37) berechtigt, die hydrostatische Kraft des Sandes die Eigenschaft desselben zu nennen, dass er ein festes Parallelepiped bis zu einer gewissen Tiefe einsinken lässt.

Volumen des eingetauchten Körperabschnittes gleicht. Da er das Gewicht des ganzen Körpers, wie es durch die Wirkung der Luft vermindert ist (§. 41), aufheben muss, wenn kein weiteres Sinken stattfinden soll, so folgt, dass ein schwimmender Körper in die Flüssigkeit eindringt, bis sein Gewicht mit dem einer Flüssigkeitsmasse übereinstimmt, deren Volumen dem Rauminhalte des in sie versenkten Stückes gleicht [1]).

§. 40. Nimmt man das Gewicht der Volumenseinheit einer bestimmten Flüssigkeit, z. B. des Wassers im Zustande seiner grössten Dichtigkeit, also bei + 3,86° C. (§. 11), als Einheit, so entspricht die hierauf bezogene Eigenschwere oder das specifische Gewicht eines Körpers dem Coëfficienten (§. 7, Anm. 1), mit dem man die Volumenseinheit desselben vervielfältigen muss, um das Gewicht desselben in denselben Einheiten, wie das der Flüssigkeit auszudrücken. Das absolute Gewicht gleicht daher dann dem Producte des specifischen und des Rauminhaltes der Masse.

§. 41. Wägt man einen Körper in der Luft, so fällt sein Gewicht um ebensoviel kleiner wie in dem luftleeren Raume aus, als das Gewicht der von ihm verdrängten Atmosphäre beträgt. Da aber dieses mit der Höhe über dem Meeresspiegel, der Wärme, dem Feuchtigkeitsgrade und der Zusammensetzung der Luft wechselt, so können streng genommen zwei Gewichtsbestimmungen verschiedener

---

[1]) P. du Bois-Reymond (De aequilibrio fluidorum. Berolini 1859. p. 17) drückt demgemäss den Archimedischen Grundsatz in allgemeinerer Form aus. Schwimmt ein Körper an der Grenze zweier Flüssigkeiten, so denke man sich die Schwimmebene nach dem Gesetze der Oberfläche der unteren Flüssigkeit durch den Körper fortgeführt. Dieser wiegt dann ebensoviel, als die Summe der Gewichte eines Volumens der unteren Flüssigkeit von der Grösse des eingetauchten und des Rauminhaltes der oberen von der des darüber befindlichen Theiles. Führen wir diese Auffassung weiter fort, so können wir sagen, dass ein Körper, der in einer Reihe übereinander geschichteter, im Gleichgewichte befindlicher Flüssigkeiten (§. 20) schwebt, dasselbe Gewicht hat, als wenn jeder einer einzelnen Flüssigkeit entsprechende Abschnitt aus der entsprechenden Flüssigkeit selbst bestünde. Nennen wir ein solches Gewicht ein partielles oder ein theilweises Schwebegewicht, das Gewicht dagegen, das von Massendichtigkeit oder Molecularbeschaffenheit der Körpers abhängt, das er also in dem luftleeren Raume darbieten würde, das Massengewicht, so wird die Schwere eines jeden Körpers nur mit dem Unterschiede seines Massengewichtes und der Summe seiner theilweisen Schwebegewichte wirken. Ist diese Grösse negativ, so gelangt er auf die Oberfläche der obersten Flüssigkeit. Fällt sie dagegen positiv aus, so liefert diese Auffassung den allgemeinsten Ausdruck des Archimedischen Satzes, weil sein Streben oder sein Druck in der Richtung der Schwerkraft die Summe der theilweisen Schwebegewichte durch den Einfluss der umgebenden Flüssigkeiten verliert.

Körper nur dann untereinander verglichen werden, wenn man jede von ihnen auf den luftleeren Raum zurückgeführt hat — eine Verbesserung, die immer bloss näherungsweise möglich ist [1]. Die geringe Eigenschwere der Luft erzeugt aber so kleine Fehler, selbst bei festen oder tropfbar flüssigen Körpern von nicht sehr bedeutender Eigenschwere, dass in man der Regel die theoretische Verbesserung ohne merklichen Nachtheil vernachlässigen kann.

§. 42. Der Gewichtsverlust, den der Körper bei dem vollständigen Eintauchen erleidet, gleicht dem Gewichte eines mit ihm gleich grossen Flüssigkeitsvolumens. Man findet daher das Verhältniss seiner Eigenschwere zu der der Flüssigkeit, wenn man sein Gewicht durch seinen Gewichtsverlust theilt. Wird die Flüssigkeit zu dem Einheitsmaasse gewählt, so gibt der zuletzt genannte Quotient die Eigenschwere des Körpers unmittelbar an. Wägt man eine und dieselbe schwerere Masse in zwei verschiedenen Flüssigkeiten, so verhalten sich die beiden Gewichtsverluste, wie die Eigenschweren der Flüssigkeiten. Dieses gibt also ein Mittel, das specifische Gewicht flüssiger Körper wechselseitig zu vergleichen. Man findet es auch, wenn man das absolute Gewicht eines Flüssigkeitsvolumens durch das Gewicht desselben Volumens der Einheitsflüssigkeit theilt. Verlieren zwei Körper von derselben oder von ungleicher Eigenschwere, die in derselben Flüssigkeit gewogen werden, gleich viel, so müssen sie denselben Rauminhalt besitzen. Da das absolute Gewicht eines Körpers dem Producte des Volumens und der Eigenschwere desselben gleicht, so bestimmt man das Volumen oder den Rauminhalt desselben, wenn man das absolute Gewicht durch die Eigenschwere theilt oder den Gewichtsverlust, den er in einer Flüssigkeit erleidet, mit der Eigenschwere derselben vervielfältigt, vorausgesetzt dass man in beiden Fällen weiss, welches Gewicht das Einheitsvolumen der als Einheitsmasse zum Grunde gelegten Flüssigkeit besitzt.

§. 43. Da ein auf einer schwereren Flüssigkeit schwimmender Körper einsinkt, bis das Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmasse seinem Gesammtgewichte gleicht (§. 39), so muss sich seine Eigenschwere zu der der Flüssigkeit, wie der Rauminhalt des untertauchenden Abschnittes zu dem des ganzen Körpers verhalten [2].

[1] Siehe z. B. die Reductionsgleichungen bei A. Mousson, Die Physik auf Grundlage der Erfahrung. Bd. I. Zürich 1858. 8. S. 94. 95.

[2] Nennt man V das Volumen und s die Eigenschwere des schwimmenden Körpers,

Darf man annehmen, dass keine Adhäsionserscheinungen in merklicher Weise störend eingreifen, so kann man diesen Satz zu specifischen Gewichtsbestimmungen benutzen. Er macht auch die Frage, wie tief ein Körper von gegebener Form und Eigenschwere in einer schwereren Flüssigkeit einsinkt, zu einer rein geometrischen Aufgabe. Man muss nur noch bei der Lösung derselben in Betracht ziehen, dass der Schwerpunkt des schwimmenden Körpers und der des eingetauchten Abschnittes, wenn dieser gleichartig ist, oder der der verdrängten Flüssigkeitsmasse in derselben senkrechten Geraden liegen.

§. 44. Greifen die Adhäsions- oder Klebrigkeitseinflüsse (§. 11) in keiner störenden Weise ein, so wird ein Körper, der die gleiche Eigenschwere wie eine Flüssigkeit hat, an jedem Orte derselben schweben können. Plateau bereitete sich auf diese Weise eine Mischung von Weingeist und Wasser, welche die Eigenschwere eines fetten Oeles besass. Er konnte hierdurch Verhältnisse herstellen, in denen die besonderen Einflüsse der Schwere für das Oel unwirksam wurden. Er war dann im Stande, die Gesetze der Ruhe und der Bewegung der Flüssigkeiten, wie sie sich ohne jene Nebenwirkungen gestalten, anschaulich zu machen. Derselbe Grundsatz gestattet auch einzelne, für die Physiologie und die Pathologie werthvolle Bestimmungen der Eigenschwere, die auf anderen Wegen schwer oder gar nicht erhalten werden. Suchte man z. B. das specifische Gewicht von kleinen Festgebilden des Thierkörpers, die sich nicht vollständig von der sie umgebenden Flüssigkeit trennen lassen, so würde man eine indifferente Zusatzflüssigkeit beimischen, bis jene dichteren Körper überall schweben bleiben. Man muss aber nicht übersehen, dass die Anziehung der Oberflächen der festen Körper zur Flüssigkeit das Emporsteigen oder die Senkung früher als die Ausgleichung der Eigenschweren aufheben und daher zu Täuschungen führen kann. Es versteht sich auch von selbst, dass die Zusatzflüssigkeit die Form und die chemische Beschaffenheit der zu untersuchenden Festgebilde nicht ändern darf. Wollte man das specifische Gewicht der Gesammtmasse eines Menschen oder eines Thieres bestimmen, so könnte man sich in ähnlicher Weise eine Salzlösung von derselben Eigenschwere wie jene bereiten. Man müsste nur dafür sorgen, dass nicht die an den

---

v den Rauminhalt des untergetauchten Abschnittes und σ die Eigenschwere der Flüssigkeit, so ist $Vs = v\sigma$ und daher $s : \sigma = v : V$.

Haaren und anderen Hautgebilden haftende Luft den Körper noch zum Theil auf dem Flüssigkeitsspiegel schwimmen lässt, wenn man schon die Gleichheit der beiderseitigen Dichtigkeiten hergestellt hat.

§. 45. Eine gleichartige, von keinen einseitig thätigen Druck- oder Molecularkräften angegriffene Flüssigkeit nimmt die Kugelform im Zustande des Gleichgewichtes an (§. 39. Anm. 1). Eine andere gleichartige, aber von ihr verschiedene flüssige Masse legt sich um sie in Form einer Kugelschaale unter denselben Nebenbedingungen (§. 20). Die Geweblehre liefert zahlreiche Beispiele für diese Normen. Die freien und die von Eiweisskörpern umschlossenen Fetttropfen, wie wir sie in dem Milchsafte, dem Dotter, den Milchkörperchen und dem Fettgewebe finden, bewahren ihre Kugelform in dem Zustande allseitiger Gleichheit der mechanischen Einflüsse. Dasselbe wiederholt sich für viele Protoplasmamassen und die eiweissreichen durchsichtigen Gebilde, die man oft als helle Kerne beschreibt. Gehen die Pflanzenzellen aus der runden Form des Merenchyms in die des scheinbar sechseckigen Parenchyms über, wiederholt sich das Gleiche für die thierischen Fett- und Epithelialzellen, so erzeugen sich diese Gestalten durch das gegenseitige Zusammenrücken. Streng genommen würde hier die rein geometrische Aufgabe gelöst, wie sich eine überall gleich nachgiebige Kugel abplattet, wenn sie von einer grösstmöglichen Zahl gleich grosser Kugeln berührt, gedrückt und daher in einen geradflächigen Körper verwandelt wird. Die Ungleichheit der Grösse der Berührungskugeln und der Druckwirkungen in verschiedenen Richtungen führt jedoch fast immer zu ungleichseitigen Abplattungen in den organischen Gewebtheilen. Hat nicht die ausgedehntere abgeplattete Fläche des Centralgebildes den Druck einer umfangreicheren Kugel auszuhalten, so muss eine stärkere, durch andere Verhältnisse bedingte Pressung auf sie gewirkt haben. Man beschränkte sich z. B. bis jetzt auf die Angaben, dass die kugeligen Blutkörperchen sehr junger Säugethierembryonen später platt und an beiden Flächen ausgehöhlt werden, dass sich Zellen oder Kerne theilen oder schon vorhandene Kugelgebilde mit neuen concentrischen Ringschichten umgeben. Eine genauere Betrachtung der mechanischen Ursachen dieser Veränderungen würde erst die Geweblehre zu einem würdigen Gegenstande gedankenreicher wissenschaftlicher Untersuchung und nicht blosser Formbeschreibung machen. Sie gäbe auch mittelbaren Aufschluss, welcher Wechsel der Grössen und der Richtungen der Kräfte sich in dem Laufe der Entwickelungs- und

Ernährungsveränderungen geltend macht. Dreht man eine Oelkugel, die man von den besonderen Einflüssen der Schwere befreit hat (§. 44), um einen durch sie geführten Stift herum, so gibt ihr zunächst die Centrifugalkraft die Form eines Sphäroids, das wie die Erde an den Polen abgeplattet und am Aequator angeschwollen ist. Das Wachsthum der Geschwindigkeit kann sie später in eine an beiden Seiten vertiefte Schüssel verwandeln, ihr also eine Form verleihen, die an die Gestalt eines Säugethierblutkörperchens erinnert. Es kommt vor, dass sich äusserste Ringe losreissen und selbständig werden, wie sich dieses LAPLACE für die Entstehung der Planeten vorstellte. Man hat nicht selten Theilungen einer kugeligen Masse durch Einschnürungen [1]), ganz wie man sie bei den Zellentheilungen unter dem Mikroskope sieht. Da hier die Centrifugalkraft eben nur als eine Druckkraft wirkt, die der Richtung des Cohäsionsdruckes entgegenarbeitet, so können ähnliche Folgen in den Wachsthumserscheinungen zu Stande kommen, sowie andere Kräfte den gleichen Druckbedingungen Genüge leisten.

§. 46. Bewegt sich ein Körper in einer ihn allseitig umgebenden Flüssigkeit oder, wie man sagt, in einem widerstehenden Mittel, so erzeugt dieses eine gewisse Summe von Hindernissen. Die Theorie kann sie meistentheils nicht mit genügender Sicherheit in Betracht ziehen, weil die Wirkungsart der Flüssigkeit nicht genau bekannt zu sein pflegt. Die selbst unter vereinfachten Voraussetzungen gewonnenen Differentialgleichungen lassen sich überdies oft nur näherungsweise integriren. Dieses gilt selbst für den einfachsten Fall, dass sich die Flüssigkeit überall in der Gleichgewichtsruhe vor dem Anfange der Bewegung befunden hat.

§. 47. Das widerstehende Mittel liefert zunächst einen Coëfficienten, der von der Dichtigkeit und der übrigen Beschaffenheit desselben abhängt und daher mit der Wärme und, wenn die Flüssigkeit in stärkerem Maasse zusammendrückbar ist, mit den äusseren Druckkräften wechselt. Die Masse, die Geschwindigkeit und die Gestalt des bewegten Körpers bilden fernere Bedingungsglieder. Es hängt von dem Producte der Masse und des Quadrates der Geschwindigkeit ab, mit welcher lebendigen Kraft der in Unruhe versetzte feste Körper die Flüssigkeit verdrängt. Die Form seiner Oberfläche

---

[1]) Die Theorie der genannten Formveränderungen gibt A. BEER, Tractatus de Theoria mathematica phaenomenorum in liquidis actioni gravitatis detractis observatorum. Bonnae 1857. 4. Vgl. auch Pogg. Ann. Bd. 96. S. 1—18 und S. 210—235.

bestimmt es, in welcher Richtung die Resultante aller auf die Flächenelemente senkrechten Wirkungen dahingeht, und die Beschaffenheit derselben und der wirkende Druck, welche Reibungshindernisse sich geltend machen [1]. Es ist bis jetzt nicht möglich gewesen, theoretisch zu entscheiden, ob der Widerstand in gleichem Verhältnisse mit der Geschwindigkeit oder mit dem Quadrate oder einer anderen ganzen oder gebrochenen Potenz derselben wächst. Zehrt er eine gewisse Menge mechanischer Leistung auf, so wird dafür eine aequivalente Wärmemenge frei, welche die Dichtigkeit und daher auch den Widerstand ändert. Ist das Mittel elastisch flüssig, so verdichtet es sich vor dem Körper und verdünnt sich hinter ihm, so dass dadurch wiederum ein Wechsel der Dichtigkeit, der Wärme und des Widerstandes herbeigeführt wird. Eine vollkommen genügende, alle Punkte berücksichtigende Lösung selbst verhältnissmässig einfacher Aufgaben gehört auf diese Weise zu den Unmöglichkeiten. Die Widerstandsfrage umfasst auch Probleme von fast rein mathematischem Interesse (§. 7), an denen sich der Scharfsinn der ersten Analytiker vorzugsweise erprobt hat. Hierher gehört z. B. die Bestimmung des Rotationskörpers von geringstem Widerstande, die schon NEWTON gegeben.

§. 48. Die Betrachtung der Wurfbewegung in dem leeren Raume und in einem widerstehenden ruhenden Mittel liefert mehrere auf physiologische Fragen anwendbare Folgerungen. Der Unterschied der beiden Fälle wächst im Allgemeinen mit der Zunahme der Dichtigkeit der umgebenden Masse. Kommt es daher nicht auf besondere Genauigkeit an, so kann man den Widerstand bei nicht zu raschen Bewegungen in der Luft vernachlässigen und z. B. aus der an der Horizontallinie gemessenen Wurfweite des bei

---

[1]) Der allgemeine Vergleich der Wirkung der Flüssigkeitstheilchen mit dem elastischen oder dem unelastischen Stosse verbunden mit der Voraussetzung, dass hierbei ein jedes Flüssigkeitsmolecül für sich, also ohne Nebenwirkung auf ein anderes thätig ist, führt zu einer Darstellung, nach welcher die durch den Widerstand erzeugte Gegenwirkung dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist. Schon NEWTON war zu dieser Art von theoretischer Proportionalität gelangt, bezweifelte aber die Richtigkeit derselben in Folge seiner Versuche. Jene zum Grunde gelegte Auffassungsweise der Stosswirkung ist überdiess an und für sich ungenügend und im Wesentlichen unrichtig. Siehe POISSON a. a. O. Tome II. p. 35—41. Eine Reihe von Problemen über die Wirkung des Luftwiderstandes auf fliegende Körper, besonders mit Rücksicht auf Ballistik und mit Zugrundelegung der Theorie des Stosses findet sich in: D. C. L. LEHMUS, Anwendung des höheren Calcüls. Leipzig 1836. 8. S. 166—190. Vgl. LAMBERT, Hist. de l'acad. de Berlin 1765. Berlin 1767. 4. p. 102—188.

einem Aderlasse ausströmenden Blutstrahles, des bei dem Harnen hervortretenden Urines, des hervorspritzenden Samens oder der zu dem Einathmen dienenden verstäubten Körper auf die Anfangsgeschwindigkeit und daher auch auf die thätige Druckhöhe zurückschliessen.

§. 49. Die Wurflinie eines im luftleeren Raume fortgeschleuderten Körpers ist eine mit senkrecht stehender Achse versehene Parabel, die sich in der durch die Schwere- und die Wurfrichtung bestimmten Ebene befindet[1]). Sie gibt das Mittel, die Wurfweite oder den geradlinigen Abstand, in welchem der geworfene Körper den Horizont abermals berührt, die Anfangsgeschwindigkeit, die ihm bei dem Wurfe ertheilt worden oder den Winkel, unter dem man ihn emporgeschleudert hat, den Elevations- oder Wurfwinkel zu berechnen, wenn man die beiden anderen Grössen kennt [2]). Man erhält die grösste Wurfweite, wenn der Wurfwinkel

---

[1]) Die Gleichung, auf die man zunächst kommt (siehe z. B. Francoeur a. a. O. p. 235. Poisson a. a. O. Tome I. p. 396. Duhamel a. a. O. Bd. I. S. 274. J. Jamin, Cours de Physique. Tome I. Paris 1858. 8. p. 66—68), verräth nicht unmittelbar die Parabelform. Man kann sie auch nicht auf den Fall, dass der Körper senkrecht emporgeworfen wird, ohne Weiteres anwenden. Nennt man nämlich x die in der Horizontalrichtung liegende Abscisse, y die darauf senkrechte Ordinate, a die dem Körper ertheilte Anfangsgeschwindigkeit und α den Elevationswinkel, und verlegt den Anfangspunkt der Coordinaten in den Anfangspunkt der Wurflinie, so hat man:

$$y = x \operatorname{tg} \alpha - x^2 \frac{g}{2 a^2 \cos^2 \alpha} \qquad (10)$$

Man erhält dagegen die canonische Form der Parabelgleichung, $y_{,}^2 = p x_{,}$, wenn man den Anfangspunkt in den höchsten Punkt der Wurflinie versetzt. Der dann senkrecht stehende Parameter p gleicht $\frac{2 a^2 \cos^2 \alpha}{g}$ und $x_{,}$ tritt an die Stelle des früheren y und $y_{,}$ an die des x. (Siehe z. B. die Transformation bei E. Külp, Lehrb. d. Experimentalphysik. Bd. I. Darmstadt 1860. 8. S. 178. 179. Vgl. auch G. Sidler, Die Wurflinie im leeren Raum. Bern 1865. 4. S. 6 fgg., wo die Beziehungen der mit den gleichen Anfangsgeschwindigkeiten und unter denselben Winkeln eingeleiteten Würfe ausführlich behandelt werden.)

[2]) Da y = 0 für die Wurfweite wird, so hat man für diese w nach (10)

$$w = \frac{a^2 \sin 2\alpha}{g} \qquad (11)$$

$$a = \sqrt{\frac{g w}{\sin 2\alpha}} \qquad (12)$$

oder wenn man $a^2 = 2 g h$ setzt, wobei h die der Anfangsgeschwindigkeit entsprechende Druckhöhe bedeutet:

$$h = \frac{w}{2 \sin 2\alpha} \qquad (13)$$

45° gleicht [1]). Sie beträgt dann das Doppelte der der Anfangsgeschwindigkeit entsprechenden Druckhöhe [2]).

§. 50. Zieht man den Luftwiderstand unter den einfachsten Verhältnissen in Betracht, so dass man ihn dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional setzt [3]) und alle übrigen Nebeneinflüsse bei Seite lässt, so lehrt zunächst die Theorie, dass die Wurflinie immer in der durch die Wurf- und die Schwererichtung bestimmten Ebene bleibt. Die Abweichung der Geschosse widerstreitet jedoch dieser Folgerung. Der Luftwiderstand besitzt hier noch oft eine Wirkungscomponente nach der dritten Dimension des Raumes. Er kann daher auch den geworfenen Körper um eine seiner Achsen drehen. Man hat eine einfache Beziehung zwischen einem Bogenstücke der als Curve einfacher Krümmung angesehenen Wurflinie in dem widerstehenden Mittel und einem entsprechenden Bogenabschnitte der Parabel, welche der luftleere Raum liefert [4]). Die Wurflinie in dem widerstehenden Mittel ist asymmetrisch in Bezug auf die durch ihren höchsten Punkt geführte senkrechte Linie. Ihr Bogen wächst zunächst weniger als der der entsprechenden Parabel. Ihr höchster Punkt liegt tiefer, die Wurfhöhe ist also geringer und

---

[1]) Ergibt sich unmittelbar aus (11).

[2]) Folgt aus (13).

[3]) Newton (Philosophiae naturalis principia mathematica. Lib. II. Prop. IV. Scholium. Ed. Th. le Sueur et P. Jacquier. Tom II. Genevae 1740. 4. p. 39. 40) erklärte schon die Annahme, dass der Widerstand der einfachen Geschwindigkeit proportional sei, für eine rein mathematische Voraussetzung. Man müsse vielmehr das Quadrat der Geschwindigkeit einführen, weil umsomehr Theilchen des widerstehenden Mittels um so rascher in der Zeiteinheit bewegt werden, je grösser die Schnelligkeit wird. (Vergl. auch le Sueur und Jacquier a. a. O. p. 2. Nr. 8.) Die Erfahrung lehrt, dass auch diese Annahme der Wirklichkeit nicht genügt. Mau pflegt sie aber den angeführten Bestimmungen zum Grunde zu legen. Dass die Wurflinie ein Parabel wird, wenn man den Widerstand des umgebenden Mittels Null setzt, hat schon Galilei erkannt und Newton (a. a. O. p. 92) genauer bewiesen. Die Bedingungen für eine Hyperbel erläutert Newton a. a. O. p. 92—112. Eine vollkommen genügende Lösung der Widerstandsfrage ist weder von Newton, noch irgend einem seiner Nachfolger geliefert worden.

[4]) Nennt man s den Bogentheil der Wurflinie in dem widerstehenden Mittel und s' den entsprechenden der Parabel und setzt den Widerstand gleich bv^2, wo v die Geschwindigkeit, so erhält man:

$$2bs = \log. (1 + 2bs') \qquad (14)$$

Siehe Francoeur a. a. O. p. 241. 242. Vgl. auch H. W. Brandes, Lehrbuch der Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung fester und flüssiger Körper. Bd. II. Leipzig 1818. 8. S. 168—175, und über die Eigenschaften der Wurflinie überhaupt Euler in Hist. de l'acad. de Berlin. 1753. Berlin 1755. 4. p. 321—352, besonders p. 332—341.

die Wurfweite kleiner als ohne den Widerstand. Der absteigende Ast krümmt sich stärker als der aufsteigende und hat eine Asymptote in senkrechter Richtung. Eine zweite schiefe Asymptote, die der Tangente eines bestimmten Punktes der entsprechenden Parabel parallel ist, kommt dem aufsteigenden Curvenstücke zu [1]).

Indem sich der absteigende Theil der Wurflinie der senkrechten Asymptote immer mehr nähert, sinkt der Körper, theoretisch genommen, unendlich lange, wenn sich ihm kein neues Hinderniss entgegensetzt. Es zeigt sich dabei dieselbe Erscheinung, die auch Körper, welche in einem widerstehenden Mittel fallen, darbieten. Die Beschleunigung der Fallbewegung nimmt nämlich beständig ab. Diese nähert sich daher der gleichförmigen und gewinnt den Charakter derselben vollständig, wenn der Widerstand der ganzen Schwerewirkung oder dem Gewichte des Körpers gleicht. Das langsamere Fallen tritt bei um so geringerer Geschwindigkeit ein, je kleiner und verhältnissmässig leichter der Körper und je grösser seine Oberfläche ist. Die ungleiche Fallgeschwindigkeit verschiedener Massen in der Luft gegenüber der gleichen aller in dem luftleeren Raume hängt mit diesen Widerstandswirkungen zusammen.

§. 51. Die Formel, welche die Schwingungsdauer eines einfachen Pendels in dem luftleeren Raume angibt, enthält als Coëfficient eine Summationsreihe, die nach den steigenden geraden Potenzen des Sinus des halben Elongationswinkels oder des Winkels, um den das Pendel von der senkrechten Richtung im Anfange der Bewegung abweicht, fortschreitet [2]). Die Zeit einer

[1]) Es versteht sich von selbst, dass der Widerstand des Mittels die Höhe und die Weite des Wurfes verkleinert. Das steilere Abfallen des absteigenden Curventheiles lässt sich daraus herleiten, dass die senkrechte Beschleunigung der Schwere fortdauert, wenn auch die horizontale Componente des Wurfes Null geworden. Die übrigen oben angeführten Sätze folgen aus der ausführlichen, in der Kürze nicht wiederzugebenden mathematischen Herleitung, die man z. B. bei Francoeur a. a. O. p. 237—245, bei Duhamel a. a. O. Bd. I. S. 276—282 oder Kunzek a. a. O. S. 244. 245 nachsehen muss. Kleine Wurfwinkel geben die Näherungsformel

$$y = x\left(\operatorname{tg}\alpha + \frac{k^2}{2a^2\cos^2\alpha}\right) - \frac{k^4}{4ga^2\cos^2\alpha}\left(e^{\frac{2gx}{k^2}} - 1\right) \ldots \qquad (15)$$

wenn man den Widerstand $\frac{gv^2}{k^2}$, wo wiederum v die Geschwindigkeit bezeichnet, gleichsetzt.

[2]) Die Herleitung findet sich bei Laplace, Mécanique céleste. Oeuvres Tome I. Paris 1843. 4. p. 31—34.

Schwingung wächst hiernach, wenn das Pendel weiter von der senkrechten, durch die Schwere bedingten Lage entfernt worden. Die nähere Berechnung lehrt aber, dass der Unterschied des Zeitwerthes, den man findet, je nachdem man diesen Umstand in Betracht zieht oder nicht, einen Irrthum von ungefähr $1/53000$ für einen Elongationswinkel von 1^0, nur einen von $1/13000$ für 5^0, dagegen einen von nahezu $1/530$ für 10^0 erzeugt [1]). Da die Abweichungen bis 5^0 unbedeutend bleiben, so kann man sie bis zu dieser Grenze vernachlässigen und daher sagen, dass die Schwingungszeiten eines einfachen Pendels für alle kleinen Elongationswinkel unverändert bleiben oder die Schwingungen isochron sind (§. 26). Die erste halbe Schwingung fordert ebensoviel Zeit als die zweite, und die absteigende Bewegung ebensoviel als die aufsteigende, so lange es sich um den luftleeren Raum handelt. Die Schwingungsdauer steht immer in gleichem Verhältnisse der Quadratwurzel der Länge und in umgekehrtem von der der Beschleunigung der Schwerkraft, die dem Beobachtungsorte entspricht [2]) (§. 23). Man wird daher z. B. ein zu physiologischen Zwecken gebrauchtes Metronom oder ein anderes Pendelwerk langsamer schwingen lassen, wenn man die Pendelstange verlängert.

§. 52. Schwingt ein zusammengesetztes Pendel in einer widerstehenden Flüssigkeit, so lässt sich immer die Länge eines einfachen, in einem anderen widerstehenden Mittel schwingenden Pendels angeben, dessen Schwingungen denen des ersteren isochron sind. Die Länge des zurückgeführten einfachen Pendels hängt nur von der Gestalt des zusammengesetzten, nicht aber von dem Widerstande des gegebenen Mittels, der Widerstand des berechneten Mittels dagegen von diesen beiden Bedingungsgliedern zugleich ab [3]).

§. 53. Der Auftrieb der Flüssigkeit (§. 38), in der sich das zusammengesetzte Pendel bewegt, verkleinert das Gewicht desselben

---

[1]) Siehe z. B. Külp a. a. O. S. 217.

[2]) Nennt man l die Länge des einfachen Pendels, α den Elongationswinkel, g die Beschleunigung der Schwerkraft und π das Verhältniss des Kreisumfanges zum Durchmesser, endlich T die Schwingungsdauer, so hat man ursprünglich:

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left[1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \sin^4\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}\right)^2 \sin^6\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \ldots \right] \quad (16)$$

so dass die Schwingungsdauer mit der Pendellänge und dem stets unter einem Rechten bleibenden Elongationswinkel wächst. Setzt man $\alpha = 0$, so erhält man:

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (17)$$

[3]) Poisson a. a. O. Tome II. p. 108—111.

und zwar um das Gewicht einer seinem Volumen gleichen Flüssigkeitsmasse, wenn Alles in Ruhe bleibt (§. 39). Die Wirkung der Beschleunigung der Schwerkraft wird auf diese Weise herabgesetzt. Die Schwingungsdauer nimmt daher zu. Sie vergrössert sich im Verhältnisse der Quadratwurzel des Pendelgewichtes. Der Gewichtsverlust fällt nach Bessel und Poisson während der Bewegung bedeutender als während der Ruhe aus. Die der Klebrigkeit entsprechende innere Reibung oder der Widerstand, den die Flüssigkeitstheilchen dem Durchschneiden des festen Körpers entgegensetzen, soll hierbei eine wesentliche Rolle nach Stokes [1]) übernehmen. Die Schwingungszeit des hin- und hergehenden Pendels wird daher noch mehr verlängert [2]). Man muss desshalb den der Quadratwurzel des Pendelgewichtes proportionalen Coëfficienten mit einem anderen, der grösser als die Einheit ist, vervielfältigen [3]).

§. 54. Das Pendel zeigt endlich noch eine andere Eigenthümlichkeit, die man z. B. bei feineren Beobachtungen, bei Myographien mit einem schwingenden Pendel und in zarten Reizversuchen, welche sehr kleine Unterschiede der Dauer des Schlusses oder der Oeffnung der erregenden galvanischen Kette fordern, berücksichtigen muss. Poisson [4]) fand nämlich, dass ein Pendel in einem widerstehenden Mittel für kleine Elongationen immer noch nahezu isochron schwingt. Der Widerstand verzögert aber die absteigende und beschleunigt die emporgehende Bewegung um eine und dieselbe von dem Elongationswinkel direct abhängige Grösse. Das Pendel sinkt daher um ebensoviel langsamer gegen die senkrechte Lage herab, als es sich früher rascher bis zu seiner grössten erreichten Höhe von ihr entfernt hat. Geht es auf der anderen Seite empor, so steigt es nicht so hoch, als es sich auf der früheren erhoben hatte. Die Schwingungsbogen verkleinern sich auf diese Weise immer mehr, bis endlich die Bewegung unmerklich wird. Da sie im leeren Raume unverändert bleiben, so müssten sie hier unendlich lange fortdauern, wenn keine äusseren Störungen eingriffen.

---

[1]) Stokes in: Die Fortschritte der Physik in den Jahren 1850. 1851. Berlin 1855. 8. S. 94—105.

[2]) Poisson a. a. O. Tome I. p. 363.

[3]) Littrow in Gehler's physik. Wörterbuch. Bd. X. Abth. II. Leipzig 1842. 8. S. 1764. 1765.

[4]) Poisson a. a. O. Tome I. p. 358—363. Vgl. auch J. J. Littrow, Elemente der physischen Astronomie. Wien 1827. 8. S. 156—159 und in Gehler's phys. Wörterbuch a. a. O. S. 1759—1763. Kunzek a. a. O. S. 246—250.

§. 55. Schwankt ein aus seinem Gleichgewichte verrückter Körper, der auf einer schwereren Flüssigkeit schwimmt, hin und her, so macht ein Theil desselben seine Bewegungen in einem und ein anderer in einem zweiten widerstehenden Mittel. Dieser Umstand reicht schon hin, eine vollkommen genügende Theorie nach dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft unmöglich zu machen. Man vereinfacht desshalb die Aufgabe, die übrigens in physiologischen Untersuchungen selten vorkommt, indem man nur die wechselseitigen Beziehungen des schwimmenden festen Körpers und der schwereren Flüssigkeit, auf der er schwebt, in Betracht zieht. Die auf dieser einfacheren Grundlage aufgebaute Theorie leidet immer noch an wesentlichen Unvollkommenheiten. Zwei Beispiele können das Nähere klar machen.

§. 56. Man erklärt das Gleichgewicht des schwimmenden Körpers für stabil, wenn er, aus seiner Lage in geringem Grade verrückt, zu seiner früheren Stellung zurückzukehren strebt, wenn also unendlich kleine seitliche Verschiebungen unendlich kleine Bewegungen erzeugen. Es wird dagegen als labil angesehen, wenn er sich in dem gleichen Falle von seiner Gleichgewichtslage zu entfernen sucht, also Bewegungen von endlicher Grösse aus unendlich kleinen Verrückungen hervorgehen. Ruht ursprünglich die umgebende Flüssigkeit, so hat man ein stabiles Gleichgewicht, wenn der Schwerpunkt des schwimmenden Körpers tiefer liegt als der des Flüssigkeitsvolumens, das durch den untergetauchten Theil während des Zustandes des Gleichgewichtes verdrängt worden, oder wenn er sich höher als dieser befindet und zugleich einer Bedingung genügt, die von einem näher bestimmten Trägheitsmomente und dem eingetauchten Volumen abhängt [1]. Die Berücksichtigung nicht bloss des hydrostatischen, sondern auch des hydraulischen Druckes führte aber CLEBSCH [2] zu dem Ergebnisse, dass jeder stabil schwimmende Körper auch schon durch unendlich kleine Bewegungen der umgebenden Flüssigkeit in endliche Bewegungen versetzt wird, wenn ihre Periode mit der, die der Körper in seinen Bewegungen anzunehmen sucht, übereinstimmt.

§. 57. Wir haben §. 39 gesehen, dass der Schwerpunkt des ganzen schwimmenden Körpers und der der Flüssigkeitsmasse, die

---

[1]) DUHAMEL a. a. O. S. 199—204.

[2]) CLEBSCH, Berliner Berichte über die Fortschritte der Physik. 1859. Berlin 1861. 8. S. 75.

der untergetauchte Abschnitt in dem Gleichgewichtszustande verdrängt, in einer und derselben senkrechten Linie liegen. Wir wollen diese die Verbindungslinie der beiden Schwerpunkte nennen, wenn sie auch bei der seitlichen Neigung nicht mehr senkrecht steht und sich die eingetauchten Theile geändert haben. Verlängert man dann die durch die verdrängte Flüssigkeitsmasse erzeugte senkrechte Auftriebrichtung, so schneidet sie die jetzt schiefgelegene Verbindungslinie der beiden Schwerpunkte in einem Punkte, den man das Metacentrum nennt. Das Gleichgewicht des verrückten schwimmenden Körpers soll stabil sein, wenn sich das Metacentrum über und labil, wenn es sich unter dem Schwerpunkte des schwimmenden Körpers befindet. DUHAMEL [1]) zeigte aber, dass hier wesentliche Irrungen eingriffen. Lässt auch eine kleine Neigung das eingetauchte Volumen nur in geringem Grade wechseln, so ändert sich doch die Lage des Metacentrums beträchtlich und setzt dieses daher während der Bewegung des Körpers fort. Das Metacentrum kann überdies bald über und bald unter dem Schwerpunkte des ganzen Körpers selbst bei stabilem Gleichgewichte liegen (§. 56).

§. 58. Der Zusammenhang oder die Cohäsion eines sich gleichbleibenden Körpers ist dadurch bedingt, dass sich die anziehenden und abstossenden Kräfte, die positiven und die negativen Einflüsse des Strebens der wechselseitigen Stellungsveränderung, mit denen jedes Molecül auf die übrigen wirkt, im Gleichgewicht befinden. Man kann sich für den allgemeinsten Fall vorstellen, dass jedes Theilchen in dem Mittelpunkte eines Ellipsoides mit drei ungleichen Hauptachsen liegt, dessen Oberfläche die Grenzen bezeichnet, bis zu denen die noch merkliche Wirkung des Theilchens reicht. Unterscheidet sich diese an Stärke und Ausdehnung nur nach zwei auf einander senkrechten Hauptrichtungen des Raumes, so dass sich die Bedingungen der Zwischenrichtungen aus ihnen allein nach dem Parallelogramm der Kräfte zusammensetzen lassen, so geht das drei- und ungleichachsige Ellipsoid in ein Rotationsellipsoid über. Es wird zu einer Kugel, zu der sogenannten Wirkungssphäre, wenn die thätige Kraftgrösse nach allen Seiten des Raumes dieselbe ist oder wenigstens die Unterschiede für die gleichen Entfernungen unmerklich werden. Man bestimmt ihren Werth nach der Grösse des Kugelhalbmessers.

---

[1]) DUHAMEL a. a. O. Bd. II. S. 210. 211.

§. 59. Ein jedes Molecül einer unendlich gross gedachten, vollkommen gleichartigen, unbedingt beweglichen und im Gleichgewichte ruhenden Flüssigkeit wird denselben Einfluss von allen Seiten her erfahren, die Theilchen mögen welche Grösse der Wirkungssphäre sie wollen besitzen. Wird aber die flüssige Masse von einer festen eingeschlossen oder von einem fremdartigen Körper überhaupt umgeben oder berührt, so macht sich nicht bloss die Cohäsionskraft der Theile der Flüssigkeit, sondern auch die gegenseitige positive oder negative Anziehung oder, richtiger gesagt, die Resultante der Kraftgrössen, mit welcher der erste Körper auf den zweiten, und der, mit welcher dieser auf jenen wirkt, als ein Streben der Annäherung oder der Abstossung zwischen den Molecülen der festen und der benachbarten flüssigen Masse geltend. Die Bedingungen des Gleichgewichtes ändern sich daher, soweit jene Wechselbeziehung unmittelbar und mittelbar eingreift. Man nennt die hiervon abhängigen eigenthümlichen Erfolge die Haarröhrchenanziehung, die Capillarwirkungen oder die Capillaritätserscheinungen, weil sie sich in Röhren mit dünnen Hohlräumen, die man in eine Flüssigkeit versenkt hat, am Nachdrücklichsten verrathen [1]). Sie wurde auch zuerst an ihnen nach der allgemeinen Angabe von AGGIUNTI (1635) oder, nach einer Bemerkung von POGGENDORFF, von LEONARDO DA VINCI beschrieben. Die in dem Haarrohre befindliche Flüssigkeit kann sich dabei zu einer gewissen Steighöhe über den Spiegel der umgebenden Flüssigkeitsmasse erheben oder unter denselben zu einer bestimmten Senkung, Niederdrückung oder Depression zurückziehen. Man hat z. B. den ersten Fall, wenn man eine dünne Glasröhre in Wasser und den zweiten unter gewöhnlichen Verhältnissen, wenn man sie in Quecksilber taucht. Die Niederdrückung des letzteren wurde zuerst von VOSSIUS [2]) beobachtet.

§. 60. Man muss die Benennung: Haarröhrchenanziehung, für

---

[1]) Die Seitenfläche eines geraden Cylinders von dem Halbmesser r und der Höhe h gleicht $2r\pi h$ und das Volumen desselben $r^2\pi h$. Jene verhält sich also zu dieser wie $1 : \frac{r}{2}$. Lässt man den durch die Capillarität erzeugten Meniscus unbeachtet, so wird die mit der Wand in Berührung kommende Seitenfläche des Flüssigkeitscylinders im Verhältniss zu dem Volumen, mithin auch zur Schwere desselben um so grösser, je dünner die Röhre ist. Man kann daher auch Wasser in sehr feinen Haarröhren mehrere Meter hoch durch blosse Capillarwirkung emporsteigen lassen.

[2]) WERTHEIM, Ann. de Chimie. Troisième Série. Tome LXIII. 1861. p. 129.

zu eng halten, weil jeder beliebige feste Körper, der in der angegebenen Weise auf eine Flüssigkeit wirkt, neue Gleichgewichtsbedingungen einführt. Man hat daher auch den Capillareinfluss in der Nachbarschaft der grössten wie der kleinsten Flüssigkeitsbehälter und an allen beliebigen Arten theilweise eingetauchter Körper überhaupt. Er spielt eine Hauptrolle in den Vorgängen der lebenden Organismen, weil das Grundprincip der Einrichtung derselben eine nahe Zusammenlagerung fester und flüssiger Massen an den meisten Orten voraussetzt [1]).

§. 61. Man kann zunächst einen jeden organischen Theil als einen Körper ansehen, den eine grosse Zahl feiner Lückenräume, oder Poren in den verschiedensten Richtungen durchsetzen. Die Wände dieser röhrenähnlichen Canäle ziehen Wasser und wässerige Lösungen an, so dass diese in den Haarspalten umsomehr emporsteigen, je dünner der Hohlraum. Es ist möglich, dass sich die Theile in einzelnen Fällen hydratiren, dass also die Molecüle der Flüssigkeit zwischen die der festen eindringen. Wirken wässerige Lösungen auf trockene organische Gewebe, so werden diese durchtränkt oder imbibirt. Man erhält auf diese Art die Erscheinungen der Quellung. Die Filtration, wie wir sie zu unseren künstlichen Versuchen benutzen, besteht darin, dass eine gewisse hydrostatische Druckhöhe einer Flüssigkeit einen Theil derselben durch die Lückenräume eines Filters durchzutreiben sucht. Da jeder poröse Körper von beliebiger Form oder jede Wirkung, die sich auf eine hydrostatische Druckhöhe zurückführen lässt (§. 28), dasselbe leisten kann, so nimmt man das Wort Filtration auch in weiterem Sinne und spricht z. B. von dem Durchfiltriren von Absonderungen oder krankhaften Ausschwitzungen aus dem Blute durch thierische Häute. Selbst der Austritt der Kohlensäure und die Aufnahme des Sauerstoffes bei der Lungen- und der Hautausdünstung lassen sich als eine Art von Gasfiltration ansehen. Sind endlich zwei Flüssigkeiten durch eine poröse Scheidewand, z. B. eine organische Haut, getrennt, so hängen zwar die unter gewissen Bedingungen eintretenden Wechselwirkungen, die Diffusion, die Endosmose und die Exosmose, nicht ausschliesslich von der Haar-

---

[1]) Newton (Opticc. Latine reddidit S. Clarke. Lausannae et Genevae 1740. 4. p. 318) erkannte schon den Einfluss der Capillarwirkungen auf die Thätigkeiten des lebenden Körpers und sagt bei Betrachtung jener Erscheinungen: In animalibus corporibus glandes pro sua cujusque natura et constitutione succos diversos e sanguine attrahunt.

röhrchenwirkung ab, sie bestimmt aber die Erfolge in wesentlichster Weise. Da ein grosser Theil der lebenden Organismen aus Behältern besteht, deren flüssige Inhaltsmassen durch poröse Gebilde wechselseitig geschieden werden, so erklärt sich hieraus, wesshalb Diffusionserscheinungen die Grundlage eines jeden grösseren Säfteaustausches im lebenden Körper bilden.

§. 62. Während diese Beziehung allgemein anerkannt wird, hat man bisher eine andere fast gar nicht berücksichtigt. Einer der wesentlichsten Vortheile, welche die Kunstwerke der organischen Natur vor denen des Menschen voraus haben, besteht darin, dass die in den lebenden Wesen thätigen Werkzeuge von mikroskopischer Kleinheit sind. Alle Gewebe bieten daher den Fall dar, dass eine selbst beschränkte unmittelbare oder mittelbare Wirkungssphäre der Festgebilde den Gleichgewichtszustand der ihnen benachbarten verhältnissmässig geringen Flüssigkeitsmassen wesentlich bestimmen und anders als in einer grösseren Flüssigkeitsmenge derselben Art gestalten kann. Die Ruhe und die Veränderung durch die Aufnahme oder die Abgabe von Stoffen wird daher bisweilen von den Erscheinungen abweichen, welche gesonderte grosse Flüssigkeitsmassen derselben Art unter den gleichen Nebenbedingungen darbieten. Wie sich die Krystalle, die sich aus einer Lösung scheiden, an einem festen Körper am Leichtesten absetzen, so sehen wir oft genug, dass sich die Wandungen von Zellen oder anderen geschlossenen Behältern mit concentrischen Schichten bedecken. Das polarisirte Licht weist das Gleiche an Röhren und Fasern nach, wo das gewöhnliche Licht keine Spur dieses von Capillaritätserscheinungen abhängigen Vorganges anzeigt. Die Haarröhrchenanziehung bestimmt es, wie sich ein Tropfen einer Flüssigkeit auf einer anderen mit ihr nicht mischbaren oder auf einer festen Oberfläche ausbreitet [1]). Dieser Umstand wird ebenfalls die Vertheilung neu eingetretener Stoffe in den mikroskopischen Flüssigkeitsbehältern bestimmen helfen.

§. 63. Eine schon im siebzehnten Jahrhundert bemerkte Thatsache bildet die Grundlage für die Hauptannahme, die man der mathematischen Auffassung der Haarröhrchenanziehung zu Grunde

---

[1]) Eine ausführliche Beschreibung dieser Erscheinungen findet sich bei P. du Bois-Reymond, Untersuchungen über die Flüssigkeiten, deren innere Strömungserscheinungen, über die Erscheinungen des stillstehenden Tropfens, der Ausbreitung und Vertreibung. Berlin 1854. Vgl. auch: Die Fortschritte der Physik im Jahre 1854. Berlin 1857. 8. S. 156—165.

legt. Die Steighöhe und die Oberflächenform scheinen nämlich von der Wanddicke der Capillarröhre unabhängig zu sein. Man hat zwar von Zeit zu Zeit das Gegentheil behauptet. Einzelne Erfahrungen von BÈDE [1]) z. B. schienen anzudeuten, dass sich die Steighöhe des Wassers und die Niederdrückung des Quecksilbers in dickwandigeren Glasröhren vergrössert. WERTHEIM [2]) fand aber, dass eine und dieselbe Flüssigkeit in zwei Röhren von dem gleichen Lumen zu verschiedenen Höhen emporgeht, wenn die Innenfläche der einen glatter als die der anderen ist. Da solche Abweichungen bei den verschiedenen abgekühlten Gläsern immer vorkommen, so bleibt die Möglichkeit offen, dass der scheinbare Einfluss der Wanddicke von jenem Unterschiede herrührt. Er kann auch von einer anderen chemischen Beschaffenheit des Glases abhängen, weil diese den Capillaritätscoëfficienten ebenfalls zu ändern im Stande ist [3]). BÈDE [4]) bemühte sich später, diese auch von SORET gemachten Einwürfe durch Versuche zu prüfen und gelangte dabei zu dem Ergebnisse, dass allerdings die Beschaffenheit der Innenfläche des Haarrohres einen wesentlichen Einfluss auf das Endergebniss ausübt.

§. 64. Hält man den Satz fest, dass die Wanddicke gleichgültig ist, besitzt also ein Haarrohr von unendlich geringer Wandungsdicke dieselbe Wirkung, wie ein beliebig dickwandiges unter sonst gleichen Nebenbedingungen, so kann schon die unendlich dünne Wandschicht, die zunächst nach aussen von der innersten liegt, keine merkliche Anziehung mehr auf die Flüssigkeitstheilchen ausüben. Die Einflussgrösse der festen Theilchen nimmt also mit solcher Schnelligkeit ab, dass sie für jede andere als eine unendlich kleine Entfernung unmerklich oder Null wird. Sie hat daher eine Wirkungssphäre oder einen Wirkungsbezirk von unendlicher Kleinheit. Diese Eigenthümlichkeit wiederholt sich übrigens für den grössten Theil der Molecularwirkungen (§. 9).

§. 65. Die Theorie der Capillaritätserscheinungen hat eine Reihe der grössten Mathematiker und viele Physiker beschäftigt. JURIN, HAWKSBEE und NEWTON [5]) eröffneten die Reihe.

---

[1]) BÈDE in: Die Fortschritte der Physik im Jahre 1852. Berlin 1855. S. S. 25. 26 und Recherches sur la Capillarité. Bruxelles 1861. 4. p. 80.

[2]) WERTHEIM a. a. O. p. 172. 173.

[3]) WILHELMY, Pogg. Ann. Bd. CXXII. 1864. S. 1—18.

[4]) BÈDE a. a. O. p. 81—93. 165,

[5]) I. NEWTON, Optice. Ed. Clarke. 1740. p. 316—319, wo vorzugsweise die zwischen zwei Planplatten auftretenden Steighöhen berücksichtigt werden.

Clairaut, Segner, Young, Monge, Laplace, Gauss, Poisson und später Rudberg, Pagani, Hagen [1]), Davidoff, Bertrand, Gilbert, Desains, Wertheim, P. du Bois-Reymond und Quincke folgten nach [2]). Führten auch diese Bemühungen zu keiner unzweifelhaften und strengen Auffassung der Verhältnisse, so lehrten sie doch Vieles, das sich auf physiologische Forschungen mit Erfolg übertragen lässt. Wir müssen daher auf diese Arbeiten näher eingehen.

§. 66. Jurin [3]) behauptete schon, dass die Steighöhen der Flüssigkeit in umgekehrtem Verhältniss der Röhrendurchmesser stehen, wenn der flüssige und der feste Körper unverändert bleiben [4]). Clairaut scheint später die strenge Richtigkeit dieses Satzes bezweifelt zu haben. Da er auch einen Einfluss der Wandanziehung auf einen centralen Flüssigkeitsfaden voraussetzte [5]), so beschränkte er seine Untersuchung nicht auf eine unendlich kleine Wirkungssphäre derselben. Er fasste daher die Frage der Kraftwirkungen möglichst allgemein auf. Laplace [6]) urtheilt in dieser Hinsicht, dass Clairaut den Hauptpunkt, die Norm der Röhrendurchmesser, unberührt gelassen, und Gauss [7]), dass seine Bemühungen zu keiner Erklärung dieser Erscheinungen geführt haben. Sie lieferten aber dessenungeachtet eine Reihe unter gewissen idealen Bedingungen richtiger Folgerungen, die wir unter dem Namen der Clairaut'schen Sätze kennen lernen werden (§. 73).

---

[1]) Eine Uebersicht der Hauptansichten von Jurin, Clairaut, Segner, Monge, Young, Laplace, Poisson, Rudberg, Gauss und Hagen gibt Wertheim a. a. O. S. 129—150. Eine ausführliche kritische Darstellung der Theoricen der Capillarität hat E. Bède, Recherches sur la capillarité. Mém. couronnés de l'acad. de Bruxelles. Tome XXX. Bruxelles 1861. 4. p. 5—59.

[2]) Ein ausführliches Verzeichniss der über die Haarröhrchenanziehung bis 1858 erschienenen Abhandlungen liefert G. A. Quincke, De constantibus mercurii capillaribus. Berolini 1858. 4. p. 24—27.

[3]) Jurin, Phil. Transact. 1718. Nr. 355. p. 742.

[4]) Dieser Satz bildet nur den auf kreisrunde Röhren angewandten Einzelfall des allgemeinen Ausspruches, dass das Volumen der gehobenen oder niedergedrückten Flüssigkeitssäule dem Umkreise des Lumens der Röhre proportional ist. Die Beobachtungen können den Jurin'schen Satz schon desshalb nicht genau bestätigen, weil fast alle capillaren Glasröhren elliptische Querschnitte besitzen.

[5]) Da mir die Originalarbeit von Clairaut, Théorie de la figure de la Terre. Paris 1743. 4. Seconde Édition 1808. 4. nicht zugänglich war, so berichte ich nach der Angabe von Laplace.

[6]) Laplace, Mécanique céleste. Oeuvres Tome IV. Paris 1845. 4. p. 390.

[7]) F. Gauss, Principia generalia theoriae figurae fluidorum in statu aequilibrii. Commentat. soc. Gotting. recent. Vol. VII. Gottingae 1832. 4. p. 39.

§. 67. SEGNER und YOUNG[1]) und später von einem anderen Standpunkte aus HAGEN[2]) suchten die Oberfläche, welche die emporgehobene Flüssigkeitssäule darbietet, als eine Art von elastischer Fläche zu betrachten. Man kann einen unendlich dünnen Faden derselben, den die Wandanziehung festhält und der sich im Ganzen im Spannungsgleichgewichte befindet, mit einem festen, unter ähnlichen Verhältnissen befindlichen Faden vergleichen, der die Segelcurve oder die Kettenlinie darbietet (§. 34). Diese Vorstellung führt zwar leicht zu einer der Hauptgleichungen der Capillaritätserscheinungen[3]). Sie ist aber nicht nur unbestimmt, sondern zwingt auch bei genauerer Verfolgung zu dem Widerspruche, dass man die Oberfläche des Meniscus in der Richtung der Tangente eines Punktes als fest und in der der Normale derselben als flüssig ansehen muss[4]).

§. 68. Die Arbeiten von LAPLACE[5]) bilden den Mittelpunkt aller theoretischen Leistungen auf diesem Gebiete. Man muss sich bei dieser wie bei allen anderen Theorieen der Capillarwirkung vorstellen, die Flüssigkeit sei vollkommen gleichartig und daher in allen Punkten ihrer Masse gleich warm, ihre Beweglichkeit werde durch keine Spur von Klebrigkeit und innerer Reibung beeinträchtigt und die Innenwand des Haarrohres besitze, wie CLAIRAUT und WERTHEIM hervorhoben[6]), eine absolute oder unendlich feine Politur, so dass jedes Reibungshinderniss wegfällt. Die Klebrigkeit (§. 11), von der ältere Forscher die Capillaritätserscheinungen herleiteten, stört diese in wesentlicher Weise[7]), indem sie das Aneinandergleiten der Flüssigkeitstheilchen beeinträchtigt.

---

[1]) WERTHEIM a. a. O. p. 132—134. LAPLACE a. a. O. p. 551. 552.

[2]) HAGEN in: Die Fortschritte der Physik im Jahre 1845. Berlin 1847. 8. S. 14—19.

[3]) Man hat $y = C\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right)$, wo y die Entfernung eines Meniscuspunktes von der wagerechten Ebene, r und r′ der grösste und der kleinste Krümmungshalbmesser der Meniscusfläche und C eine Capillaritätsconstante bezeichnet, die von den Kräften abhängt, die sich im Innern und an der Oberfläche der Flüssigkeit und in der unmittelbaren Nähe der Wand geltend machen.

[4]) WERTHEIM a. a. O. p. 134.

[5]) LAPLACE lieferte eine erste Abhandlung 1805—1806, der eine zweite später folgte. Supplément au dixième livre du traité de mécanique céleste. Oeuvres Tome IV. Paris 1845. 4. p. 389—461. Supplément à la théorie de l'action capillaire. Ebendas. p. 462—552.

[6]) WERTHEIM a. a. O. p. 132.

[7]) LAPLACE a. a. O. p. 544.

§. 69. Laplace[1]) legt in seiner ersten Abhandlung die Annahme zum Grunde, dass die Gesetze der Anziehung zwischen den Theilchen der festen Wand und denen der Flüssigkeit dieselben seien, wie die zwischen den Flüssigkeitsmolecülen unter einander. Er setzt ferner mit Hawksbee voraus, dass die Wandanziehung für endliche Entfernungen unmerklich wird (§. 64) — eine Norm, die auch für die chemischen Wirkungen und die nach der Emanationstheorie behandelten Brechungserscheinungen des Lichtes wiederkehrt. Diese Aehnlichkeit war auch der Grund, wesshalb sich Laplace mit der Theorie der Haarröhrchenwirkung beschäftigte, nachdem er die astronomische und die irdische Strahlenbrechung von jenem Gesichtspunkte aus erläutert hatte. Er bestimmt den Druck einer von einem convexen oder concaven Abschnitte einer Kugelfläche begrenzten Flüssigkeitsmasse auf eine unendlich dünne Flüssigkeitssäule, die gegen die Mitte jener Oberfläche gerichtet ist, und findet, dass er kleiner ausfällt, als wenn die Oberfläche eben wäre, wenn sie concav und grösser, wenn sie convex ist. Seine Formel[2]) besteht aus zwei Gliedern, von denen das erste und viel grössere der Wirkung der durch eine ebene Fläche oben begrenzten Masse entspricht und den Ausdruck für die Cohäsion und die chemische Affinität der Flüssigkeitstheilchen nach Laplace[3]) bildet. Das zweite Glied dagegen drückt den Theil der Wirkung aus, der dem Meniscus oder demjenigen Flüssigkeitsabschnitte zukommt, der zwischen seiner Oberfläche und der Berührungsebene liegt. Er steht in umgekehrtem Verhältnisse zu dem Halbmesser der Kugelfläche, erscheint je nach der Convexität oder der Concavität derselben positiv oder negativ und drückt die Capillaritätswirkung

---

[1]) Laplace a. a. O. p. 390. 391. 400 fgg.

[2]) Er wendet hierbei den, wie wir sehen werden, auch von Fourier und Navier gebrauchten und dann von Dirichlet mit so vielem Erfolge erweiterten, aber gefährlichen Kunstgriff an, die Integrale, die den beiden Gliedern entsprechen und die Functionen der Entfernung der Molecüle sind, zwischen den Grenzen Null und Unendlich zu nehmen, weil doch die Moleculаranziehung Null wird, sowie die Entfernung einen endlichen Werth erhält. Vgl. §. 70.

[3]) Wie sich dieses Laplace denkt, wird von ihm a. a. O. S. 540 fgg. näher erläutert. Seine etwas abweichende Ansicht über die Molecularwirkung, von der die chemische Eigenthümlichkeit abhängt, gibt Poisson in seiner Nouvelle théorie de l'action capillaire. Paris 1831. 4. p. 267—269. Vgl. auch Poisson, Mém. de l'Instit. Tome IX. Paris 1830. 4. p. 1—10 und Fechner, Repertorium der Experimentalphysik. Bd. I. Leipzig 1832. 8. S. 19—23.

aus [1]). Die Oberfläche der Flüssigkeit nähert sich umsomehr der einer Kugelfläche, je geringer der Durchmesser der Haarröhre ist. Sind die Kugelabschnitte der Menisci in den verschiedenen aus demselben Material bestehenden Röhren ähnlich, was man nach der Grundhypothese der Theorie annehmen kann, so verhalten sich dann die Halbmesser ihrer Oberflächen umgekehrt wie die Röhrendurchmesser [2]). Die Wandanziehung hat keinen weiteren Einfluss auf die Steigung oder die Niederdrückung der Flüssigkeitssäule, als dass sie die Neigung der an den Wänden unmittelbar befindlichen Flüssigkeitsebenen bestimmt. Die Concavität oder die Convexität der Oberfläche des Meniscus und der Krümmungshalbmesser desselben hängen von der Grösse dieses Neigungswinkels oder des Randwinkels ab. Die Reibung der Flüssigkeit an den Wänden kann die Meniscuskrümmung und daher auch in entsprechendem Maasse die Capillarwirkung vergrössern oder verkleinern [3]).

§. 70. GAUSS [4]), der von denselben Grundannahmen wie LAPLACE bei seiner auf dem Princip der virtuellen Geschwindigkeiten fussenden Herleitung ausging, machte einen begründeten Einwurf gegen die von jenem Forscher vorgenommene Behandlung der Anziehungsfunctionen [5]), hob aber besonders hervor, dass LAPLACE die Unveränderlichkeit des Randwinkels der der Wand benachbarten oder an der Grenze ihrer merklichen Anziehung liegenden Flüssigkeitsebene und der Berührungsebene der Wandung in genügender Weise nirgends dargethan habe. Die Gauss'sche Gleichung genügt in dieser Hinsicht strengeren Forderungen. Sie zeigt im Anschluss an LAPLACE, dass die zwei beständigen Grössen, welche jenen Neigungswinkel bestimmen, gewissermaassen das Maass der Stärke der Molecularkräfte, welche die Theilchen der Flüssigkeit und die der Wand in Thätigkeit setzen, ausdrücken [6]). Die Erfahrungen aber, die besonders QUINCKE [7]) an Quecksilbertropfen machte, welche an einer festen

---

[1]) Das erste Glied ist das Integral, das LAPLACE und seine Nachfolger mit K und das zweite das, welches sie mit H bezeichnen. Eine anschauliche Darstellung dieser beiden Grössen gibt WERTHEIM a. a. O. §. 136. 137.

[2]) LAPLACE p. 393.

[3]) LAPLACE p. 394.

[4]) GAUSS a. a. O. p. 40—42.

[5]) Er betrifft unter Anderem die §. 69 Anm. 2 erwähnte Behandlung, die oft unrichtig ausfällt. Vgl. auch BÈDE a. a. O. p. 48 und 56.

[6]) GAUSS p. 80—82.

[7]) QUINCKE a. a. O. p. 23.

Wand haften oder auf ihr ruhen, deuten an, dass die Bedingungen, von denen die Grösse des Neigungswinkels abhängt, verwickelter sind, als die Theorie annimmt.

§. 71. POISSON[1]), der ebenfalls die Beständigkeit jenes Randwinkels schärfer zu beweisen suchte, wandte gegen die Theorieen von LAPLACE und GAUSS ein, dass sie die Flüssigkeit, deren Gleichgewichtszustand die Haarröhrchenwirkung geändert hat, als vollkommen unzusammendrückbar und daher auch als überall gleich dicht ansehen. Dieses sei aber nicht der Fall, da eine wesentliche Bedingung[2]) der Möglichkeit des Auftretens der Capillarerscheinungen darin bestehe, dass die Dichtigkeit der Flüssigkeit in der Nähe der Oberfläche und in der Nachbarschaft der Röhrenwand sehr rasch wechselt[3]). Sie nehme schnell ab, sowie die obere drückende Schicht dünner als der Halbmesser der Wirkungssphäre der Molecüle werde[4]). Die Capillaroberfläche würde ohne diesen Umstand eben ausfallen. Die grössere Zusammendrückung, welche die der Wand anliegende Schicht vermöge der Anziehung der festen Theile erfährt, spreche gegen den Clairaut'schen Satz (§. 74), dass die Flüssigkeit in einem senkrechten Rohre wagerecht bleibe, wenn die Wirkung der Wandtheilchen auf die Theilchen der Flüssigkeit doppelt so gross als die der letzteren auf einander für die gleiche Entfernung ausfällt. Der Beweis dieses Gesetzes gelte nur, wenn man die an der Wand stattfindende Verdichtung nicht in Betracht zieht. Geschieht dieses, so macht der Dichtigkeitsunterschied der einzelnen Punkte jede bloss von der Entfernung und dem Volumen abhängige und sonst beständige Wirkung unmöglich[5]).

---

[1]) S. D. POISSON, Nouvelle théorie de l'action capillaire. Paris 1831. 4. p. 5. 8. 36—45. Vgl. dagegen BÈDE a. a. O. p. 29—46.

[2]) Siehe auch DAVIDOF, Die Fortschritte der Physik im Jahre 1855. Berlin 1858. 8. S. 20—22.

[3]) Die übrigen Beziehungen seiner Theorie zu der von LAPLACE erläutert POISSON p. 264 — 267. Ueber die dabei vorkommenden Missverständnisse siehe WERTHEIM p. 139—146.

[4]) Obgleich es sich wahrscheinlich nur um unendlich dünne Schichten an der Oberfläche und in dem äussersten Umkreise der Flüssigkeit handelt, so würde es doch wenigstens zu versuchen sein, ob sich nicht die Frage auf optischem Wege erfahrungsmässig entscheiden liesse. Nähme man eine der Flüssigkeiten, die eine grössere optische Dichtigkeit mit der mechanischen verbinden, so müssten durchgehende Lichtstrahlen im Bezirke der verdichteten Schichten stärker als in der übrigen Flüssigkeitsmasse unter sonst gleichen Verhältnissen abgelenkt werden.

[5]) POISSON p. 45. 46.

§. 72. WERTHEIM [1]) endlich suchte nachzuweisen, dass LAPLACE die Kräftefunction, von der er ausgeht, unvollständig aufgefasst hat und auch nur durch eine der Young'schen (§. 67) ähnliche Nebenannahme der Steifheit oder eines elastischen Widerstandes der an den Wänden des Haarrohres angehefteten Meniscusfläche zu seiner Hauptgleichung gelangen konnte. Während sich die wesentlichsten Einwände von POISSON von selbst verständen oder auf Missverständnissen beruhten [2]) und die Theorie dieses Mathematikers eine grosse Reihe willkürlicher Annahmen zum Grunde lege [3]), sei noch hervorzuheben, dass die zweite Arbeit von LAPLACE die Flüssigkeit bei der Darstellung der Wirkung der Anziehung der Wandungstheilchen zu den Flüssigkeitstheilchen und dieser unter einander als schwerelos voraussetzt [4]). WERTHEIM entwickelt eigene Gleichungen für die Beziehungen der Abscissen und der Ordinaten der Meniscuscurven, wie sie bei der Capillarwirkung einer unendlichen Ebene [5]) und zweier paralleler Platten [6]) auftreten und zeigt, dass die hiernach berechneten theoretischen Zahlen mit denen, die ihm die Erfahrung lieferte, mehr oder minder genau und oft sehr nahe stimmen. Ein eigenthümlicher Umstand verrieth sich noch darin, dass die an einer Spiegelplatte gefundenen Werthe der Capillaritätsconstante fast durchgehend grösser als die berechneten ausfielen [7]), also nicht, wie bei blossen Beobachtungsfehlern, bald positiv und bald negativ waren. Man könne sich dieses durch die Annahme erklären, dass keine unendlich dünne Flüssigkeitsschicht an der festen Wand haftet und der Meniscus diese berührt, sondern dass man eine Lage von endlicher Dicke hat [8]) und dass alle Theile derselben, die unter dem Berührungspunkte der Meniscusfläche mit der Wand liegen, einen Bestandtheil des Meniscus bilden. Verdünnt sich jene Schicht durch Verdunstung, so sinkt auch die gehobene Flüssigkeitssäule. Diese Auffassungsweise führt noch zu dem Schlusse, dass vollkommen trockene Festkörper keine Capillarerhebung bedingen. Die Nieder-

---

[1]) WERTHEIM a. a. O. p. 136—139.

[2]) WERTHEIM p. 140. 145. 147. 148.

[3]) WERTHEIM p. 147.

[4]) WERTHEIM p. 142—144.

[5]) WERTHEIM p. 156—161.

[6]) WERTHEIM p. 174. 175.

[7]) WERTHEIM p. 166. 167.

[8]) Vgl. dagegen die spätere Darstellung der Verhältnisse der inneren Reibung. Siehe auch P. DU BOIS-REYMOND, De aequilibrio fluidorum. Berolini 1859. 4. p. 14 fgg. und WILHELMY, Die Fortschritte der Physik im Jahre 1861. Berlin 1863. S. 122—130.

drückung aber bildet nach WERTHEIM[1]) nur die Folge der Wechselwirkung zweier Flüssigkeiten. Das Quecksilber steigt nach ihm an einer nicht mit Wasser befeuchteten Wand empor[2]) und geht nur dann hinab, wenn eine in den gewöhnlichen Verhältnissen immer vorhandene Feuchtigkeitsschicht neben ihm vorhanden ist, so dass die Senkung den Unterschied der beiden Flüssigkeitsmenisci ausdrückt[3]). Etwas Aehnliches wiederholt sich für Fette und Wasser. Jeder feste Körper endlich hebt sehr verschiedene Mengen derselben Flüssigkeit, je nachdem seine wirksame Oberfläche mehr oder minder glatt ist. Er zieht ein um so grösseres Gewicht derselben empor, je vollständiger seine Politur ausfällt[4]).

§. 73. Wir haben §. 68 gesehen, dass alle Capillaritätstheorieen Flüssigkeiten voraussetzen, wie sie in der Wirklichkeit nicht vorkommen. Dieser eine Umstand würde schon eine nur annähernde praktische Anwendung gestatten, wenn selbst irgend eine der erwähnten mathematischen Herleitungen gegen alle Einwände gesichert wäre. Da dieses nicht der Fall ist, so fordert die Uebertragung der aus ihnen folgenden Sätze doppelte Vorsicht. Wir wollen eine ausgewählte Reihe derselben betrachten, deren annähernde Gültigkeit gesichert zu sein scheint und die mannigfache physiologische Anwendungen gestatten.

§. 74. Die Clairaut'schen Sätze (§. 66) fordern nur als Einzelbedingung, dass die Norm, nach welcher die Theilchen der festen Wand die Molecüle der vollkommen gleichförmigen und widerstandslos beweglichen Flüssigkeit anziehen, einzig und allein ihrer Stärke nach von der wechselseitigen Anziehung der Flüssigkeitstheilchen abweicht[5]). Die Flüssigkeit erhebt sich dann in dem Haarrohre so lange über den äusseren Flüssigkeitsspiegel, als die Stärke der ersten Anziehungskraft grösser als die Hälfte der zweiten ist. Beträgt sie gerade die Hälfte, so besitzt die in der Röhre enthaltene Flüssigkeit einen ebenen Spiegel und steht nicht höher als

---

[1]) WERTHEIM p. 168. 169.

[2]) Ueber den schon von FRANKENHEIM betonten Einfluss der Feuchtigkeit an der Innenfläche der Röhre siehe auch BÈDE a. a. O. p. 87—91.

[3]) Die Oberfläche des Quecksilbers scheint dann einer elastischen Fläche (§. 34) zu entsprechen. WERTHEIM p. 174.

[4]) WERTHEIM p. 172. 173.

[5]) Dass man desshalb CLAIRAUT mit Unrecht die Ansicht unterlegte, die Capillarerscheinungen liessen sich aus einer unendlichen Zahl von Anziehungsgesetzen erklären, hebt WERTHEIM a. a. O. p. 131 hervor. LAPLACE (a. a. O. p. 390) bemerkt dagegen mit Recht, dass das Anziehungsgesetz selbst unbestimmt bleibt.

die äussere Flüssigkeit [1]). Sind beide Intensitäten gleich, so erhält man eine Steighöhe mit concavem halbkugeligem Spiegel. Ist die Anziehungsstärke der Röhrenwand Null, so ergibt sich nach CLAIRAUT eine Niederdrückung mit convexer halbkugeliger Begrenzung [2]). Die Oberfläche der Flüssigkeit entspricht der eines Kugelabschnittes zwischen diesen beiden Grenzen. Sie ist concav oder convex, je nachdem die Intensität der Anziehung der Röhrenmasse zur Flüssigkeit grösser oder kleiner als die Hälfte der Anziehung der Flüssigkeitstheilchen auf sich selbst ausfällt [3]). Uebertrifft endlich die Anziehung der Röhre die der einzelnen Flüssigkeitstheilchen unter einander, so hat man wahrscheinlich nach LAPLACE [4]) ein an der Innenfläche des festen Körpers anhaftendes flüssiges Rohr, welches die übrige Flüssigkeit allein hebt. Diese nimmt dann einen concaven halbkugeligen Flüssigkeitsspiegel an.

§. 75. LAPLACE stellt in seiner zweiten Arbeit über die Haarröhrchenanziehung eine Reihe von Sätzen auf, von denen wir wiederum die für die Lebenserscheinungen wichtigeren hervorheben wollen. Er geht hier in seinen Betrachtungen von einer Grundanschauung aus, die sich mehr derjenigen einzelner früherer Forscher, wie der von JURIN, SEGNER und YOUNG nähert. Die Innenwand eines eingetauchten prismatischen Rohres hebt hiernach vermöge ihrer Anziehung eine benachbarte Flüssigkeitsschicht, diese die nächstfolgende und so fort, bis das Gewicht der emporgezogenen Flüssigkeitsmasse dem Streben weiterer Hebung das Gleichgewicht hält [5]).

§. 76. Alle geraden prismatischen Röhren, deren Grundflächen Polygone bilden, die in denselben Kreis eingeschrieben sind, liefern die gleiche Steighöhe unter sonst übereinstimmenden Nebenbedingungen [6]). Denkt man sich die Grundflächen gleich, die eine jedoch ein Viereck und die andere ein gleichseitiges Dreieck, so verhalten sich die Erhebungen wie 2 : 3,75. Die Höhe des tiefsten Punktes des Meniscus der emporgeführten Flüssigkeitssäule einer sehr engen

---

[1]) Vgl. dagegen POISSON a. a. O. p. 45 und 46 und oben §. 71.

[2]) Vgl. dagegen §. 72.

[3]) Eine elementare Erläuterung dieser Sätze findet sich z. B. bei A. BAUMGARTNER, Die Naturlehre. Supplementband. Wien 1830. 8. S. 223. 224. E. KÜLP, Lehrbuch der Experimentalphysik. Bd. I. Darmstadt 1860. 8. S. 316. 317.

[4]) LAPLACE a. a. O. p. 397. 398.

[5]) LAPLACE p. 478.

[6]) LAPLACE p. 487.

cylindrischen Röhre steht nicht genau in umgekehrtem Verhältnisse zu dem Durchmesser derselben. Man muss vielmehr noch $^1/_6$ dieses Durchmessers zu der wirklichen Höhe hinzufügen, um jene Beziehung zu erhalten, vorausgesetzt dass die Flüssigkeit die Innenwand des Capillarrohres vollständig benetzt [1]).

§. 77. Steht ein Prisma, das in eine Flüssigkeit taucht, schief zum Horizonte, so bleibt das Product des über den äusseren Flüssigkeitsspiegel gehobenen Flüssigkeitsvolumens und des Sinus des Neigungswinkels für alle Grössen des letzteren unverändert [2]). Taucht ein gerades enges Prisma in ein Gefäss, in dem eine Reihe verschiedener Flüssigkeiten über einander geschichtet sind, senkrecht ein, so gleicht der durch die Capillarwirkung erzeugte Gewichtsüberschuss der gehobenen Flüssigkeiten dem Gewichte der Flüssigkeit, die emporsteigen würde, wenn das Gefäss nur diejenige Flüssigkeit enthielte, in welche das untere Ende des Hohlprismas versenkt ist [3]). Stellt man ein enges gerades Prisma seiner ganzen Länge nach in ein Gefäss, das zwei verschiedene Flüssigkeiten über einander geschichtet enthält, so dass es sich zum Theil in der einen und theilweise in der anderen befindet, so entspricht das durch die Capillarwirkung aufsteigende Gewicht der unteren Flüssigkeit dem Gewichte des gleichen Volumens der oberen und dem der unteren Flüssigkeitsmasse, die emporgehoben würde, wenn sie allein vorhanden wäre, weniger dem Gewichte der oberen Flüssigkeit, die von dem Prisma aufgenommen würde, wenn es nur in sie tauchte [4]). Da diese theoretischen Bestimmungen für die Endosmoseerscheinungen von Bedeutung sind, so wäre zu wünschen, dass man sie durch hinreichend genaue Erfahrungen zu prüfen suchte.

§. 78. Ein Hohlcylinder hebt von allen prismatischen Röhren, welche dieselbe Grundfläche haben, das kleinste Flüssigkeitsvolumen empor, weil er den geringsten Umfang hat [5]) (§. 34. Anm. 1).

§. 79. Setzt man eine widerstandslose Beweglichkeit der Flüssigkeitstheilchen und eine vollkommene Benetzung der Innenwand des Rohres voraus, so verhalten sich die Steighöhen bei verschiedenen Wärmegraden der Theorie nach gerade wie die Dichtigkeiten und umgekehrt wie der als beständig angenommene, also nicht durch

---

[1]) Laplace p. 488.

[2]) Laplace p. 498.

[3]) Laplace p. 491.

[4]) Laplace p. 497.

[5]) Laplace p. 486.

den Wärmeunterschied veränderte Röhrendurchmesser [1]). Die Erfahrung führt jedoch hier zu anderen Folgerungen, wie z. B. die von BRUNNER [2]) über die Cohäsion der Flüssigkeiten angestellten Untersuchungen gelehrt haben. Die Dichtigkeit des Wassers nimmt von 0° C. bis 3°,86 C. zu und erst bei weiterer Erwärmung wieder ab. Die Steighöhen desselben in dünnen Glasröhren verkleinern sich aber von 0° C. an fortwährend. Sie sinken jenseit des genannten Dichtigkeitsmaximum rascher als die Dichtigkeiten und eher in gleichem Maasse mit der Wärmezunahme. BÈDE [3]) schliesst aus seinen mit Weingeist, Chloroform, Oelen und Essigsäure angestellten Beobachtungen, dass das Gewicht der gehobenen Flüssigkeitssäule mit der Wärme des Meniscus proportional abnimmt, dagegen von der Temperatur der übrigen Flüssigkeit unabhängig ist.

§. 80. Eine nicht zu weite, cylindrische, zu zwei ungleich langen Schenkeln umgebogene Röhre von überall demselben Durchmesser im Lichten, die mit einer von den Wänden angezogenen Flüssigkeit gefüllt ist, wird zwei gleich hohe Flüssigkeitsspiegel bei senkrechter Aufstellung darbieten. Schichtet man neue Flüssigkeit derselben Art auf, so erhebt sich der Inhalt des kürzeren Schenkels allmälig bis zu dessen Mündung. Der concave Meniscus wird dabei flacher und zuletzt eben. Ist dieses der Fall, so gleicht der Theorie nach die Ueberschusshöhe in dem längeren Schenkel der capillaren Steighöhe einer gleich weiten, in dieselbe Flüssigkeit versenkten Röhre des gleichen Materials. Führt man immer mehr Flüssigkeit in den langen Schenkel ein, so wird der Spiegel des kürzeren allmälig convexer. Die theoretische Betrachtung lehrt dann, dass die Ueberschusshöhe der doppelten Grösse von der, die den Spiegel des kürzeren Schenkels eben machte, gleicht, wenn die Form desselben mit der einer Halbkugel übereinstimmt.

§. 81. Zwei Körper von geringem Gewichte und verhältnissmässig grosser Oberfläche, die nahe bei einander auf einer Flüssigkeit schwimmen, nähern sich wechselseitig, wenn sie die gleichen Adhäsionsbeziehungen zur Flüssigkeit darbieten und entfernen sich, wenn sie entgegengesetzte Eigenschaften in dieser Hinsicht besitzen. Es hat daher das Ansehen, als wenn sie sich anzögen, sowie beide von der Flüssigkeit benetzt werden oder dieses für keinen von ihnen stattfindet. Sie scheinen sich abzustossen, wenn nur der eine

[1]) LAPLACE p. 506.

[2]) BRUNNER, Pogg. Ann. Bd. LXX. 1846. S. 481.

[3]) BÈDE a. a. O. p. 195—198.

von ihnen der Benetzung fähig ist. Der negative oder positive Druck, den die capillare Erhebung oder Senkung erzeugt, erklärt die Annäherung in dem ersten und die Entfernung in dem zweiten Falle.

§. 82. Die kleinsten capillaren Lückenräume der organischen Gewebe sind so fein, dass man sie noch nicht mit den stärksten uns zu Gebote stehenden Vergrösserungen sehen kann. Da die Steighöhen benetzender Flüssigkeiten um so genauer umgekehrt wie die Durchmesser der Röhren zunehmen, je enger diese sind, so ist hierdurch ein wesentliches Begünstigungsmittel der Aufweichung gegeben. Man hat mannigfache Versuche angestellt, um das Quellungsmaximum oder die Menge, die ein organischer Körper von einer bestimmten Flüssigkeit aufnimmt und aus dieser das Quellungsverhältniss oder die der Masseneinheit entsprechende Werthbeziehung festzustellen. Liesse man auch die Aenderungen, welche die Ungleichheiten der Molecularbeschaffenheit und der Porosität an den verschiedenen Stellen der gebrauchten organischen Körper und der Wärmewechsel erzeugen, unbeachtet, so könnten doch vergleichende Beobachtungen der Art eine sichere Grundlage nur dann besitzen, wenn sie von demselben Grade ursprünglicher Trockenheit und derselben Porengrösse der die Flüssigkeit einsaugenden Masse ausgingen. Da die Verdichtung von Wasserdämpfen an den Wänden der Lückenräume alle feineren Trockenbestimmungen unzuverlässig macht und jede unmittelbare Controle über die Art der Porosität fehlt, so können auch keine genügend scharfen Vergleichswerthe der Quellungsmaxima und der Quellungsverhältnisse gewonnen werden.

§. 83. Bietet man eine Flüssigkeit einem porösen Körper dar, so hängt der Erfolg zunächst von dem Anziehungsvermögen der Wandungen der Lückenräume ab. Werden diese benetzt, so dringt eine Flüssigkeitssäule ein, deren Höhe in umgekehrtem Verhältnisse zum Durchmesser stünde, wenn die Pore lang genug wäre. Da sie aber in der Regel in den organischen Geweben kürzer ist, so kann sie ihren Inhalt einer benachbarten etwas engeren oder sonst aus irgend einem Grunde ansaugenden Pore abgeben und dafür neue Flüssigkeit aufnehmen. Die Quellung schreitet auf diese Weise von der Berührungsfläche der Flüssigkeit aus fort. Besteht diese aus einer mechanischen oder einer chemischen Mischung mehrerer Körper, so ruft das Anziehungsvermögen der Wand eine wesentliche Aenderung der Capillarwirkung hervor, wenn es für den einen Bestandtheil

grösser als für den anderen ist. Sand und Kohlenpulver halten bei dem Durchfiltriren nicht bloss mechanisch schwebende, sondern auch gelöste Körper theilweise zurück und werden daher zu fernerer Filtration früher oder später unbrauchbar. Eine trockene Blase, die man in eine Kochsalzlösung legt, nimmt mehr Wasser als Salz auf. War die Lösung vollkommen gesättigt, so scheiden sich auch aus diesem Grunde Kochsalzkrystalle nach LUDWIG aus, wenn man die Flüssigkeit vor Verdunstung schützt. Die Stärke der Anziehung, welche die Quellung bedingt, kann zur Folge haben, dass hierbei die beträchtlichsten entgegenstehenden Drucke überwunden werden [1]).

§. 84. Die Zellen, die mikroskopischen Röhren und die anderen mit Hohlräumen versehenen kleinen Bestandtheile der organischen Wesen bilden Behälter, deren Durchmesser hinter denen der dünnsten uns zu Gebote stehenden Glasröhren bedeutend zurückstehen. Sie werden daher eine mächtige Capillaritätswirkung auf alle Flüssigkeiten ausüben, die durch eine irgend vorhandene grössere Oeffnung oder die Poren einer Wandstelle eindringen. Die Vertheilung der neu hinzukommenden Flüssigkeit hängt dann von der Capillarwirkung der Wände und dem Widerstande des schon vorhandenen Inhaltes ab. Die mikroskopischen Untersuchungen über Pflanzen- und Thiergewebe lassen häufig die Einflüsse dieser Norm deutlich durchblicken (§. 62).

§. 85. Jedes trockene Filtrum, dessen Masse von der Flüssigkeit benetzt wird, durchtränkt sich mit dieser, ehe es sie unter dem Filtrationsdrucke durchlässt, vorausgesetzt, dass die Grösse der Poren innerhalb gewisser Grenzen der Kleinheit bleibt. Sind die Lückenräume mit einem bestimmten flüssigen Körper gefüllt, so wird eine andere mit dieser nicht mischbare Flüssigkeit unter der zuletzt genannten Bedingung zurückgewiesen. Ein mit Wasser durchtränktes Filtrum lässt daher kein Oel und umgekehrt durch, so lange die Lückenräume eng genug bleiben. Diejenigen Bestandtheile der Flüssigkeit, die eine stärkere Anziehung zu den Porenwänden haben, bilden eine der Wirkungssphäre entsprechende minder bewegliche Schicht, so dass nur ein Centralfaden im günstigsten Falle durchgehen kann, auf den diese Scheidungswirkung keinen merklichen Einfluss mehr ausübt. Ein Filtrum wird also unter diesen Verhältnissen umsomehr mit Auswahl filtriren, je feinere Lücken es besitzt.

---

[1]) Siehe JAMIN und TATE, Die Fortschritte der Physik im Jahre 1860. Berlin 1862. 8. S. 85—93.

§. 86. Die gröberen Elemente der thierischen Häute sind so gut zusammengewebt, dass sie die besten uns zu Gebote stehenden Filtra bilden. Eine frische oder vorher getrocknete und wiederum in Wasser aufgeweichte seröse Haut eines Säugethieres lässt anfangs die von Eiweisshüllen umgebenen Buttertröpfchen, die wir die Milchkörperchen nennen, die Blut- oder die Eiterkörperchen nicht durch, wenn selbst die drückende Flüssigkeitssäule oder der hydrostatische Filtrationsdruck mehr als einen Decimeter beträgt. Die Feinheit solcher Filtra bedingt es, dass schon die ersten Durchtrittsmengen einer irgend eiweissreichen Flüssigkeit mehr Wasser als diese enthalten. Die Haut selbst ist dann ebenfalls mit einer verdünnteren Flüssigkeit durchtränkt, weil die Wände ihrer gröberen und feineren Lückenräume eine grössere Anziehung zum Wasser als zum Eiweiss haben (§. 83).

§. 87. Wir werden in der Folge sehen, dass die der Zeiteinheit entsprechenden Durchtrittsmengen von Flüssigkeiten, die durch cylindrische Glasröhren gehen, nahezu wie die Druckhöhen und umgekehrt wie die Längen weiter und enger Röhren wachsen. Sie ändern sich dagegen bei grossen Querschnitten gerade wie diese und bei kleinen, deren Halbmesser weniger als 3 Millimeter gleicht, wie die Quadrate jener Flächen, so dass dann durch eine solche enge Röhre, die $^1/_4$ des Durchmessers einer weiteren hat, nicht $^1/_{16}$, sondern $^1/_{256}$ der Flüssigkeitsmasse in derselben Zeit unter sonst gleichen Verhältnissen strömt [1]). Die Menge nimmt vielleicht in einem noch stärkeren Verhältnisse, als in dem der vierten Potenzen der Durchmesser ab, wenn die Röhren denjenigen Grad von Feinheit erreichen, den wir den Lückenräumen guter Filtra zuschreiben müssen. Die Langsamkeit des Filtrirens bildet daher unter sonst gleichen Nebenverhältnissen ein Merkmal des Werthes zweier Filtra von gleicher Dicke. Die thierischen Häute bewähren sich auch in dieser

---

[1]) Poiseuille fand in seinen mit Glasröhren und verschiedenen sie benetzenden Flüssigkeiten angestellten Versuchen, dass der Ausdruck

$$q = k \frac{hd^4}{l} \qquad (18)$$

den Erfahrungsresultaten für Röhren, deren Durchmesser weniger als einen halben Millimeter beträgt, genügt. Hier ist q die der Zeiteinheit entsprechende Ausflussmenge, h die Druckhöhe der Flüssigkeit, d der Durchmesser, l die Länge der Röhre und k ein von der Beschaffenheit der Röhrenwand und der Flüssigkeit abhängiger Coëfficient. Wir werden sehen, dass das Poiseuille'sche Gesetz für Glasröhren bis zu 3 Millimeter Durchmesser nach Jacobson gilt.

Hinsicht insofern, als es immer lange Zeit dauert, bis sie die über ihnen stehende Flüssigkeit durchlassen. Man darf aber hieraus auf keine störende Langsamkeit der Vorgänge im lebenden Körper schliessen. Die Wände der Gefässe der Malpighi'schen Knäuel der Niere z. B., die der Haargefässe und der kleinsten Drüsengänge sind im Allgemeinen so dünn, dass der Durchtritt der ersten Flüssigkeitsspuren nur einen kleinen Bruchtheil einer Secunde selbst bei feinster Porosität in Anspruch nimmt.

§. 88. Trägt eine thierische Haut eine bedeutende Drucksäule, so dehnt sie sich vermöge ihres Elasticitätscoëfficienten aus und verdünnt sich in den meisten Fällen in merklichem Grade. Die Wege durch die Porencanäle werden daher kürzer und weiter. Stellen wir uns vor, eine cylindrische senkrechte Lücke verliere dabei ebensoviel an Höhe als sie an Querschnitt gewinnt, so dass ihr Rauminhalt unverändert oder, wie man es unpassend ausgedrückt hat, ihre Grösse dieselbe bleibt, so wird sie durch die Erweiterung der Pore weit mehr als durch die Verkürzung an Länge gewinnen (§. 85). Jene ist es auch besonders, die im lebenden Körper in Betracht kommt, wenn stärkere Drucke grössere Flüssigkeitsmengen in der Zeiteinheit durchtreten lassen. Es ergibt sich zugleich aus dem eben Dargestellten, dass vergleichbare Filtrationsversuche nur bei gleichen und constant erhaltenen Druckhöhen möglich sind.

§. 89. Die Querschnittszunahme der Lückenräume kann nicht bloss die Menge des der Zeiteinheit entsprechenden Filtrates, sondern auch die Beschaffenheit desselben ändern. Denken wir uns, man hätte eine gewisse Säulenhöhe einer Eiweisslösung über einer thierischen Haut aufgeschichtet und die Porosität derselben sei so beschaffen, dass sie nur Wasser und kein Eiweiss durchlässt, so wird auch dieses zuletzt in dem Filtrate zum Vorschein kommen, wenn man die Höhe der drückenden Flüssigkeitssäule immer mehr vergrössert. Da die Porenwände vorzugsweise Wasser anziehen, so belegen sie sich mit einer Flüssigkeitsschicht, die wahrscheinlich das ganze Lumen bei einer gewissen Kleinheit der Lückenräume ausfüllt. Das zu einem grossen Theile nur mechanisch beigemengte Eiweiss kann erst durchdringen, wenn die Druckhöhe die Poren so sehr erweitert hat, dass ein Centralfaden von sogenannter Eiweisslösung oder einer mechanischen Mengung von Eiweiss und Wasser trotz der Wandschicht von Wasser Platz findet. Eine Druckerhöhung lässt daher nicht selten Eiweissmassen, sondern auch Blutkörperchen und andere kleine Festgebilde um so leichter durchtreten, je mehr

sich die Wandungen dehnen lassen oder je geringer der Werth ihres Elasticitätscoëfficienten ist.

§. 90. Selbst die gröberen Porencanäle durchziehen die dünnste thierische Haut in den mannigfachsten Richtungen, so dass wahrscheinlich die wenigsten oder gar keine gerade und parallel dem Dickendurchmesser verlaufen. Man muss sich das ganze System der Lückenräume als ein allseitig unsymmetrisches und an jeder Stelle wechselndes Netzwerk vorstellen. Die Dicke der Haut ist daher im Allgemeinen kleiner, als die Länge des Weges, die ein Flüssigkeitstheilchen bei dem Filtriren durchlaufen muss. Die Querschnitte der Lücken weichen wahrscheinlich auf das Mannigfachste ab, so dass die Durchflussgeschwindigkeit und die Durchflussmenge nur die Resultanten der Einflüsse einer unendlich grossen Zahl von verschiedenen Werkzeugen in jedem Filtrationsversuche bilden, über deren Einzeleinflüsse wir nichts Bestimmtes auszusagen vermögen. Man kann nur behaupten, dass das Poiseuille'sche Gesetz nicht ohne Weiteres auf die uns hier beschäftigenden Erscheinungen, wie auf die später zu betrachtenden Wirkungen der Diffusion der tropfbaren Flüssigkeiten angewendet werden darf, indem man die Dicke des thierischen Theiles der Porenlänge gleichstellt und einen willkürlichen mittleren Porendurchmesser voraussetzt. Die Dehnbarkeit der thierischen Haut und die dadurch bedingte Aenderung der Grösse und der Gestalt der Lückenräume bilden einen Grund, wesshalb oft die Ausflussmenge stärker als die Druckhöhe wächst, wenn diese eine gewisse Grenze überschritten hat. Da wir die von Ort zu Ort wechselnde Länge der Poren nicht kennen und die gegenseitige Verbindung neue Widerstände einführt, so könnte es nicht gerechtfertigt sein, wenn man die Ausflussmenge nach dem umgekehrten Verhältnisse einer beliebig angenommenen Function der Dicke der Haut beurtheilen wollte. Es frägt sich endlich, ob nicht jene nach einer höheren als der vierten Potenz des Durchmessers wächst, wenn diese unter eine gewisse Kleinheit gesunken ist. Da man endlich nie sicher sein kann, ob zwei benachbarte, geschweige denn zwei sonst verschiedene Hautstücke von scheinbar gleichem Baue dasselbe System von Lückenräumen besitzen, so darf es nicht befremden, wenn selbst die Filtrationsconstante in zwei noch so übereinstimmenden Versuchen wechselt. Diese Schwankungen machen es auch unmöglich, eine Einheit der Druckhöhe, der Dicke und der Ausflussgeschwindigkeit für die Flächeneinheit einer bestimmten Haut zum Grunde zu legen und auf diese die

Verhältnisse anderer Häute zurückzuführen. Wäre es von Interesse, so dürfte man höchstens einen jeden einzelnen Versuch als das Ergebniss einer gewissen, willkürlich gewählten mittleren Porosität ansehen. Man würde sich statt der wirklichen Haut eine andere von gleicher Dicke denken, die von congruenten senkrechten cylindrischen Porencanälen von beliebigem Durchmesser und beliebiger Menge durchsetzt würde, für die das Poiseuille'sche Gesetz gültig bliebe.

§. 91. Der oft ausgesprochene Satz, dass der für die Filtrationsgeschwindigkeit nöthige Druck umgekehrt wie das Quellungsverhältniss (§. 82) wächst, kann keine allgemeine Gültigkeit besitzen. Die Flüssigkeitsmenge, die eine trockene thierische Haut einsaugt, hängt von der Grösse der Anziehung der Porenwände und dem Widerstande, den sie der Ausdehnung entgegensetzen, ab. Sie nimmt also mit der Verkleinerung des zweiten und der Vergrösserung des ersten Bedingungsgliedes zu. Beide machen sich in derselben Weise für das Filtrum geltend, so lange dieses von der Flüssigkeit durchtränkt wird. Die Verhältnisse ändern sich jedoch für den Durchgang derselben. Bleiben die Lückenräume eng, so wird die grössere Anziehungskraft der Wände zur Folge haben, dass eine nur dünnere bewegliche Centralschicht übrig bleibt. Man kann daher einen bedeutenden Werth des Quellungsmaximums und des zum Durchtritte nöthigen Filtrationsdruckes zugleich haben. Kleine Coëfficienten der Elasticität und der Anziehung der Haut zu der in Frage kommenden Flüssigkeit werden es bedingen, dass die zweite Eigenschaft ein geringes Quellungsmaximum und die erste einen nicht grossen Filtrationsdruck fordert, weil dieser die Lückenräume bald erweitert.

§. 92. Die Diffusion unterscheidet sich von der Filtration nur dadurch, dass sich die zweite an die poröse Scheidewand grenzende Flüssigkeit nicht indifferent verhält, sondern auf die erste vermöge der Molecularbeschaffenheit beider einwirkt. Man hat daher schon einen gegenseitigen Austausch, wenn selbst der für die Filtration nöthige Druck nicht vorhanden ist. Die Gasdiffusion kommt zu Stande, wenn elastisch und die Hydrodiffusion, wenn tropfbar flüssige Körper zu beiden Seiten der porösen Scheidewand thätig eingreifen. Hat man eine elastische Flüssigkeit an der einen und eine tropfbar flüssige Masse an der anderen Seite, so können sich die Normen der Aufnahme, der Verschluckung oder der Absorption der Gase oder der Dämpfe geltend machen.

§. 93. Poisson [1]) versuchte zuerst eine genauere Erklärung der Hydrodiffusion zu geben. Stellt man sich vor, die beiden von einander geschiedenen Flüssigkeiten benetzen die Wand des capillaren Porencanales, der sie wechselseitig trennt, so dringt im Anfange eine jede von ihnen ein und bietet eine concave Oberfläche vor dem Zusammenstossen dar. Begegnen sie später einander — wobei die zwischen beiden befindliche Luft aufgesogen und tropfbare Flüssigkeiten mit ihnen gemengt werden müssten — so bekommt die eine Flüssigkeit, welche die grössere Anziehung besitzt, einen concaven und die andere einen convexen Spiegel. Der Diffusionsstrom geht dann von der ersten nach der zweiten. Jene verdrängt daher diese nach und nach. Die in dem Porencanale dann enthaltene Flüssigkeitssäule kann einen Druck ertragen, der dem Unterschiede zweier von der Molecularbeschaffenheit der Wand und der der Flüssigkeit abhängigen Constanten entspricht und in umgekehrtem Verhältnisse zu dem Durchmesser des Capillarrohres steht. Die getrennten Flüssigkeiten vermögen daher einen Niveauunterschied darzubieten, der zu der Differenz jener beiden beständigen Grössen in geradem und zu dem Durchmesser der Capillarröhre und der Dichtigkeit der Mischung der durchgedrungenen Flüssigkeit mit der ursprünglichen in umgekehrtem Verhältnisse steht. Nun sei es möglich, dass jener Constantenunterschied für eine Anzahl der Poren der Scheidewand positiv und für eine andere Menge derselben negativ ausfalle. Jene könnten daher einen grösseren Uebertritt in der einen und diese einen, absolut genommen, geringeren in der entgegengesetzten Richtung liefern. Alles Uebrige gleichgesetzt, stehe der Niveauunterschied beider Flüssigkeiten in umgekehrtem Verhältnisse der Durchmesser der Porenlumina. Er nimmt daher auch mit der Erschlaffung der thierischen Haut ab. Da aber die engen Lückenräume derselben eine grosse Reibung erzeugen, so könne diese zuletzt den Durchgang hindern. Eine zu bedeutende Dicke der Scheidewand hebe auch auf diese Weise die Diffusionserscheinungen auf. Die Theorie von Poisson kann nicht genügen, weil sie nur die Capillarwirkung von Wand und Flüssigkeit, nicht aber die von einer Flüssigkeit auf die andere berücksichtigt. Sie ist auch desshalb genöthigt, die beiden entgegengesetzten Ströme von einer willkürlich angenommenen zufälligen Eigenschaft der Scheidewand herzuleiten.

---

[1]) S. D. Poisson, Nouvelle théorie de l'action capillaire. Paris 1831. 4. p. 296—300.

§. 94. BRÜCKE [1]) zeigte unmittelbar, dass Terpentinöl das Olivenöl, welches sich in einer capillaren, von Glaswänden begrenzten Spalte befindet, von den Wandungen derselben in Folge der grösseren Anziehung des Glases vertreibt, in der Mitte dagegen eine Schicht auftritt, in der sich beide Flüssigkeiten mischen und durchdringen. LUDWIG und CLOETTA [2]) wiesen später nach, dass eine trockene thierische Haut, die in einer Salzlösung aufgeweicht wird, ein concentrirtere Lösung zurücklässt und mithin eine verdünntere einsaugt (§. 83). Da man aber aus ihr eine Flüssigkeit auspressen kann, welche nahezu die Dichtigkeit der umgebenden hat, so folgt, dass eine wässerigere Wandschicht durch die Adhäsionswirkung der Lückenräume in diesen zurückgehalten wird. Erfahrungen der Art erhärten also unmittelbar, dass man zwei verschiedene Flüssigkeitsmassen in jedem Querschnitte einer Pore hat, deren Durchmesser grösser ist, als die (doppelte) Wirkungssphäre der beiden an den Endpunkten desselben befindlichen Wandelemente, eine Wandschicht, die nach Maassgabe der Stärke der Anziehung festgehalten und eine centrale Lage, die leichter durchgelassen wird. Diese letztere bedingt es aber, dass die Diffusion nicht bloss auf der Wechselwirkung von Wand und Flüssigkeit, sondern auch von einer Flüssigkeit auf die andere ohne Betheiligung der Wand beruhen kann. Eine ausführliche Verfolgung der bei der Gas- und der Hydrodiffusion in Betracht kommenden Erscheinungen wird uns klar machen, dass dieser Satz eine bis jetzt nur zu oft vernachlässigte Grundlage aller Vorstellungen bilden muss, die man sich über die Mechanik des Austausches machen darf.

§. 95. Grenzt ein fester Körper an ein Gas, so bedeckt er sich mit einer dünnen verdichteten Schicht desselben. Ein festes Molecül, das anziehend wirkt, führt die benachbarten Flüssigkeitsmolecüle zu sich heran. Da seine Wirkung mit der Entfernung abnimmt, so stehen die ihm näheren Molecüle der elastischen Flüssigkeit in geringeren wechselseitigen Entfernungen als die entfernteren. Man hat also eine anhaftende Lage, deren Verdichtung mit der Entfernung von der Wand kleiner und zuletzt unmerklich wird, so wie sich die Einflüsse der Wandanziehung und der gegenseitigen Stellungsveränderung der Molecüle an der Grenze des Verschwindens

---

[1]) E. BRÜCKE, De diffusione humorum per septa mortua et viva. Berolini 1842. 8. S. 24. 25. Pogg. Ann. Bd. 58. 1843. S. 79—92.

[2]) A. CLOETTA, Diffusionsversuche durch Membranen mit zwei Salzen. Zürich 1851. 8. S. 22—26.

befinden. Die Wirkung hängt auch hier von der Anziehung des festen zu dem flüssigen Körper, von der Frage, ob und in welchem Grade das Gas diesen benetzt oder nicht, ab. Da aber die mechanische Vertheilung grosse Oberflächen schafft, so sind es besonders die Pulver, z. B. das der Kohle, oder der Platinmoor oder der Platinschwamm, die sich durch kräftige Wirkungen der Art, durch eine mächtige Gasabsorption auszeichnen. Die Wärme, welche die gegenseitigen Abstände der Molecüle zu vergrössern sucht, wirkt jenem Adhäsionsbestreben und jener Verdichtung entgegen. MAGNUS schloss z. B. aus seinen Beobachtungen, dass jeder Quadratmillimeter Glasoberfläche 0,0008 Cubikmillimeter schwefeliger Säure mehr bei 0° C. zurückhält, als bei 100°. Verdichten also z. B. die mikroskopischen Hornblättchen unserer Oberhaut die sie zunächst umgebende Luft, so wird sich dieses mit den Wärmeschwankungen unserer äusseren Haut und der umgebenden Atmosphäre in untergeordneten Beziehungen ändern.

§. 96. Ist das Gas, das an den festen Körper grenzt, für seinen Wärmegrad mit Wasserdampf gesättigt, so müssen die Verdichtung, der grössere Druck und die durch ihn erzeugte Volumensabnahme der elastischen Flüssigkeit einen entsprechenden Niederschlag von tropfbar flüssigem Wasser zur Folge haben, wenn man von den Wirkungen der bei der Zusammendrückung frei werdenden Wärme absieht. Die Erfahrung lehrt aber, dass solche Niederschläge schon erfolgen, wenn das umgebende Gas von seinem Sättigungszustande weit entfernt ist, eine Thatsache, die auf eine kräftige Verdichtung in der Nähe der Oberfläche des festen Körpers zurückschliessen lässt. Man darf daher annehmen, dass unsere Oberhaut von einer geringen Menge von Feuchtigkeit, vorzugsweise an Stellen, die nicht durch die Hautschmiere eingeölt sind, fortwährend bedeckt wird. Der Umstand, dass sie einen Isolator der Elektricität zu bilden pflegt, spricht nicht gegen diese Voraussetzung. P. RIESS[1]) fand, dass eine frisch blossgelegte Oberfläche eines Glimmerblättchens das Wasser in einer fortlaufenden Schicht verdichtet, wenn selbst die Luft wenig Wasserdampf enthält, und dann die Elektricität leitet. Ein gewöhnliches reines Glimmerblättchen dagegen wirkt als vollkommener Isolator unter den gleichen Verhältnissen. Die mikroskopische Untersuchung lehrt aber, dass dann

[1]) P. RIESS, Die Fortschritte der Physik im Jahre 1846. Berlin 1848. 8. S. 65.

das niedergeschlagene Wasser ein Netzwerk von einzelnen Tropfen darstellt.

§. 97. Befindet sich eine Mischung chemisch indifferenter Gase in einem geschlossenen Behälter, so können sich zunächst die verschiedenen Luftarten in ähnlicher Weise, wie die tropfbaren Flüssigkeiten (§. 23) nach Verschiedenheit ihrer Eigenschwere ordnen, so dass z. B. die Kohlensäure unter dem Sauerstoff und dieser unter dem Stickstoff zu stehen kommt. Ein solcher Zustand dauert aber nicht eine unbegrenzte Zeit fort. Die einzelnen Gase durchdringen sich wechselseitig. Ein jedes verbreitet sich, als wenn es durch das andere nicht merklich gestört würde, als wenn dieses gar nicht vorhanden wäre. Denkt man sich diese Norm, die wahrscheinlich eine nur annähernde Gültigkeit hat, als streng maassgebend, so erhält man das Dalton'sche Gesetz, dass jedes Gas eines Gemenges mit seinem Theildrucke thätig ist, dass die Wirkung so angesehen werden muss, als sei schon das Gas in dem Raume des Behälters gleichförmig ausgebreitet und demgemäss verdünnt. Eine Folge davon ist, dass das Product des Gesammtvolumens und der ihm zukommenden Spannung der Summe der entsprechenden ursprünglichen ähnlichen Producte der einzelnen Bestandtheile gleicht [1]). Man kann sich vorstellen, dass jedes Gas Lückenräume übrig lässt, in welche die Molecüle der anderen nebenbei vorhandenen Luftarten vermöge ihres Ausdehnungsbestrebens einzudringen suchen und dieses so lange fortdauert, bis das Gleichgewicht der Mischung an jedem Punkte hergestellt ist. Die grosse Langsamkeit, mit der diese Diffusion erfolgt und die mit der Eigenschwere des zu durchdringenden Gases zunimmt, lässt auf eine bedeutende Kleinheit jener Zwischenräume schliessen. Die leichten Störungen der Ausgleichung, welche die Schwere, die Einflüsse der Wärme oder andere Nebenbedingungen hervorrufen, deuten auf die grossen hier auftretenden Widerstände hin.

§. 98. Trennt man zwei Gase, wie Kohlensäure und Sauerstoff, durch eine poröse Scheidewand, so gesellen sich noch die Bedingungen hinzu, welche die Lückenräume und deren Wände des festen

---

[1]) Nennt man das Volumen eines ersten Gases v und das der folgenden v', v'' u. s. f., die ihnen zugehörenden Spannkräfte e, e', e'' u. s. f. und das Volumen des ganzen Behälters u, so hat man hiernach $\frac{v}{u}e + \frac{v'}{u}e' + \frac{v''}{u}e'' \ldots = E$, wenn E die Spannkraft der Mischung bedeutet. Folglich

$$ve + v'e' + v''e'' \ldots = Eu. \quad (19)$$

Zwischenkörpers einführen. Machen sich diese in merklicher Weise geltend, so kann sich auch nicht das von GRAHAM aufgestellte Diffusionsgesetz der Gase, das sich aus dem Dalton'schen Gesetze theoretisch herleiten lässt, bewähren. Die ausgetauschten Volumina beider Gase sollen nach ihm in umgekehrtem Verhältnisse ihrer Eigenschweren bei gleichbleibendem Drucke stehen. Die Erfahrungen von BUNSEN, in denen ein getrockneter Gypspfropf als Scheidewand diente, lehrten in der That, dass hier noch Constanten bestimmend eingreifen, die von der Natur der porösen Scheidewand und der Beschaffenheit der wirksamen Gase abhängen. Man kann vermuthen, dass wiederum eine verdichtete Wandschicht, die aus dem stärker angezogenen Gase besteht (§. 95), ruhiger bleibt und der gegenseitige Austausch erst ausserhalb der mittelbaren Wirkungssphäre der Wände und der durch sie zusammengedrückten Gasmasse nach dem Dalton'schen Gesetze vor sich geht. Dieser wird daher nachdrücklicher durchgreifen, wenn die Querschnitte der Poren grösser oder die Wirkungsbezirke der Verdichtung (§. 58) kleiner ausfallen. Der Verdichtungscoëfficient der Masse der Scheidewand kann daher keinen Rückschluss auf die Grösse jenes Diffusionscoëfficienten gestatten, weil noch die Durchmesser der Lückenräume in Betracht kommen.

§. 99. Die tropfbaren Flüssigkeiten zeigen ähnliche Erscheinungen wie die Gase. Befinden sich mehrere, die nicht chemisch aufeinander wirken, in einem Behälter eingeschlossen, so ordnen sie sich ebenfalls nach ihren Eigenschweren (§. 23). Jede Niveaufläche bietet den gleichen Druck und dieselbe Wärme an allen Punkten ihrer Ausdehnung dar. Nimmt man das Mariotte'sche Gesetz, dass sich die Dichten und die Expansivkräfte gerade und die Volumina umgekehrt wie die Drucke verhalten (§. 10), als streng gültig an, so folgt, dass die Eigenschwere eines ruhenden, überall gleichartigen Gases in einer geometrischen Progression wächst, wenn die entsprechenden Höhen in einer arithmetischen zunehmen. Diese Norm wird wahrscheinlich in den tropfbar flüssigen Körpern nur ihrer geringen Zusammendrückbarkeit wegen unmerklich. Wie aber die nach ihren Eigenschweren geordneten Gase sich wechselseitig diffundiren, so liefern die tropfbaren Flüssigkeiten eine ähnliche Reihe von Erscheinungen, für die GRAHAM den Namen der Osmose vorgeschlagen hat.

§. 100. Die Auflösung eines festen Körpers in einem flüssigen gehört wahrscheinlich zu dieser Art von Wirkungen. Die Molecüle

der dichten Masse lagern sich zwischen die der flüssigen an der Berührungsfläche, so lange es die gegenseitigen Anziehungsverhältnisse gestatten. Man erhält auf diese Art eine concentrirte Lösung an derjenigen Stelle, wo der feste Körper angegriffen wird. Sie verbreitet sich von hier aus allmälig in der übrigen Flüssigkeit, so dass zuletzt der der Menge derselben entsprechende Dichtigkeitsgrad der Lösung zu Stande kommt. Die Langsamkeit dieser Ausgleichung lässt wiederum auf die Kleinheit der Zwischenräume und die Grösse der Widerstände schliessen. Etwas Aehnliches wiederholt sich, wenn zwei verschiedene, aber mischbare Flüssigkeiten, wie eine Salzlösung und Wasser, in wechselseitige Berührung kommen, also z. B. über einander geschichtet sind. Die Erfahrung lehrt hierbei, dass die Uebergangsmenge des Salzes aus einer Schicht in die andere dem Concentrationsunterschiede beider annähernd proportional zu sein scheint. Die Schnelligkeit der Mittheilung nimmt mit diesem Dichtigkeitsunterschiede, und zwar bei kleinen Werthen mehr als bei grossen, ab. Die osmotische Wechselwirkung einer dichteren und einer dünneren Lösung verlangsamt sich daher im Laufe der Zeit. Der von den Beziehungen beider Flüssigkeiten abhängige Diffusionscoëfficient bestimmt die Mengen, die wechselseitig übertreten. Da sich die Anziehungsgrössen zweier Lösungen mit dem Dichtigkeitsgrade derselben oft genug ändern, so wechselt auch häufig der Werth des Diffusionscoëfficienten im Laufe der Versuchszeit. Die Berechnung desselben nach dem Endergebnisse einer gewissen Periode gestattet daher keinen Rückschluss auf den wahren Ausdruck desselben zu einem bestimmten, innerhalb dieses Zeitraumes liegenden Augenblicke. Die Wärme begünstigt wiederum oft den osmotischen Vorgang in merklicher Weise.

§. 101. Graham [1]) verglich zunächst die Schnelligkeit der Diffusion mit der Flüchtigkeit der Körper. Kalihydrat verbreitet sich z. B. in Wasser doppelt so schnell als Schwefelkalium. Es ist daher in gleichem Maasse osmotisch flüchtiger. Dasselbe wiederholt sich, wenn sich Schwefelkalium zwei Mal rascher als Zucker, Weingeist oder schwefelsaure Bittererde in der gleichen Flüssigkeit vertheilt. Man kann dagegen die Körper, die ihre Orte in einer übergeschichteten Flüssigkeit nur langsam ändern, als fixe ansehen. Hierher gehören z. B. das Kieselsäurehydrat, wässeriges Eiweiss, die Auflösungen von Stärke, Gummi, Zuckerkand, Tannin oder

[1]) Graham, Ann. de Chimie. Troisième série. Tome LXV. 1862. p. 129.

Gallerte, die pflanzlichen und die thierischen Extractivstoffe. Lässt sich auch gegen einen solchen allgemein gehaltenen Vergleich wenig einwenden, so darf man ihn doch nicht benutzen, um den Grad der Flüchtigkeit nach der Geschwindigkeit der Osmose beurtheilen zu wollen, weil diese nicht bloss mit der ursprünglichen Beschaffenheit, sondern auch mit der im Laufe der Zeit sich ändernden Dichtigkeit wechselt. Theilt aber GRAHAM[1]) alle Körper in *krystallisationsfähige Massen* und in *Colloide*, je nachdem sie sich rasch oder langsam diffundiren, in ihrer Auflösung zähe verharren oder nicht, sich wahrhaft lösen oder nur aufquellen, so muss man bedenken, dass der Unterschied zwischen beiden Klassen unbestimmt bleibt und manche Colloidstoffe, wie die verschiedenartigen Blutkrystalle lehren, krystallisationsfähig sind und sogar noch als Krystalle in Flüssigkeiten durch Haarröhrchenwirkung aufquellen können.

§. 102. Sondert man zwei tropfbare Flüssigkeiten durch eine poröse Scheidewand, so fügt man wiederum den Einfluss der Lückenräume derselben zu dem der Osmose hinzu (§. 98). Die letztere wird durch den physikalischen und chemischen Unterschied der tropfbaren Körper, so weit sie in wechselseitige Berührung kommen, bestimmt. Man muss aber ausserdem die Wirkungen der Anziehung der Wand des Lückenraumes zu jeder der zwei Flüssigkeiten, die Aenderungen, welche die hierdurch erzeugte Wandschicht bedingt, und die Grösse und die Beschaffenheit der centralen Flüssigkeitsfäden berücksichtigen. Da es sich auf diese Art um eine Reihe von Constanten handelt, die von einander vollkommen oder bis zu einem gewissen Grade unabhängig sind, so beruht das Ergebniss des scheinbar einfachsten Versuches auf einer grossen Zahl nicht leicht übersehbarer Einzelbedingungen, die sich sogar im Laufe der Zeit ändern, wenn z. B. die Anziehung der Porenwand mit der Concentration oder einer anderen Verschiedenheit der ausgetauschten Flüssigkeit wechselt. Nimmt man eine thierische Haut als Scheidewand, so kann man in der Regel nicht voraussetzen, dass die Beschaffenheit derselben während einer irgend langen Versuchszeit dieselbe bleibt. Man sollte daher nur unorganische Zwischenwände oder einen capillaren Glasraum von bekannter Grösse anwenden, um die Grundgesetze der *Hydrodiffusion* festzustellen.

§. 103. JOLLY bezeichnete als *endosmotisches Aequivalent* diejenige Gewichtsmenge des zweiten Körpers, welche für

[1]) GRAHAM ebendas. p. 198—203.

die Gewichtseinheit des ersten ausgetauscht worden, sowie die Ruhe des relativen Gleichgewichtes den Strom der Hydrodiffusion aufgehoben hat. Wir wollen uns eine unendlich grosse Flüssigkeitsmasse denken. Sie soll eine poröse Scheidewand, welche die untere Oeffnung einer Röhre schliesst, benetzen und einen festen Körper, der in dieser enthalten ist, lösen können. Versenkt man in sie die Röhre bis zu einer gewissen Tiefe, so füllen sich zuerst die Poren der Scheidewand mit der Flüssigkeit. Diese löst aber einen Theil des festen, an der oberen Seite der Scheidewand befindlichen Körpers, sowie sie jene durchdrungen hat. Es erzeugt sich hierauf eine Hydrodiffusion einer kleinen Menge einer concentrirten Lösung und einer unendlichen der äusseren Flüssigkeit. Die Gesammtmasse des festen Körpers wird auf diese Weise im Laufe der Zeit gelöst. Die Dichtigkeit der in der Röhre befindlichen oder der inneren Flüssigkeit nimmt in der Folge immer mehr ab, bis sie der der äusseren bis auf einen unmerklichen Unterschied gleich geworden. Das Verhältniss der Gewichtsmenge der inneren Flüssigkeit zu der des ursprünglich in der Röhre vorhandenen festen Körpers gibt dann das endosmotische Aequivalent. Man hat die unendliche äussere Flüssigkeitsmasse durch eine grosse unverändert gelassene oder eine kleinere oft gewechselte in den auf diesem Gebiete angestellten Beobachtungen zu ersetzen gesucht. Da sich das Volumen der einen Flüssigkeit zu vergrössern und das der zweiten zu verkleinern pflegt, so erzeugt sich hierdurch ein Druckunterschied zu beiden Seiten der Scheidwand, dessen Werth im Laufe der Wirkungsdauer zunimmt. Man pflegt ihn durch Nachrücken oder durch besondere Vorrichtungen von Zeit zu Zeit auszugleichen, um die hierdurch bedingten Störungen so sehr als möglich zu verkleinern.

§. 104. JOLLY nahm als Scheidewände Blasenstücke, die er vorher mit Weingeist sorgfältig gereinigt hatte. Er fand dabei z. B. 215,7 als das endosmotische Aequivalent des Kalihydrates. Zucker gab nur 7,2, Weingeist und ebenso Kochsalz 4,2 und Schwefelsäure 0,3. Wasser bildete die äussere Flüssigkeit in allen diesen Fällen. Man sieht hieraus, dass ausserordentliche Unterschiede auftreten können und z. B. der endosmotische Aequivalentwerth der Schwefelsäure 719 Mal so klein als der des Kalihydrats ausfiel. Man darf die Zahlen selbst zu keinen weiteren Folgerungen gebrauchen, weil nicht bloss der Wechsel der Wärme und der Beschaffenheit der Scheidewand, sondern auch der der Dichtigkeit der beiderseitigen Flüssigkeiten und der ursprüngliche Molecularzustand der aufgelösten

Körper die Grösse derselben zu ändern vermag. Der Gang der Schwankungen kann dabei die verschiedensten Wege einschlagen. LUDWIG fand z. B. für Glaubersalz, Wasser und gereinigte Harnblase des Schweines, dass das endosmotische Aequivalent wuchs, sowie die innere Lösung verdünnter war, sich also auch im Laufe der Diffusionsdauer änderte und zwar nicht den Zeiten proportional oder in einer geraden Linie, sondern in einer erst aus einer Reihe von Erfahrungen zusammenzusetzenden Curve von unbekannten Coordinatenbeziehungen. SCHUMACHER erhielt das gleiche Ergebniss für Kleesäure und für Schwefelsäure, nicht aber für salpetersaures Ammoniak, dessen Aequivalent bei allen Dichtigkeitsgraden unverändert blieb. ECKHARD endlich stiess auf den dritten möglichen Fall, dass es für dichtere Kochsalzlösungen grösser als für verdünntere ausfiel. Er und ADRIAN bemerkten noch, dass es für Herzbeutelstücke des Kalbes, die getrocknet und wieder aufgeweicht oder mit Weingeist behandelt worden, höher als für frische erschien. Wasserfreies schwefelsaures oder phosphorsaures Natron gab HOFFMANN ein ungefähr drei Mal so kleines Aequivalent als das entsprechende Hydrat der gleichen Verbindung. Trockene Häute liefern oft ein grösseres endosmotisches Aequivalent, weil die Quellung derselben die Poren erweitert und daher Anfangs der Durchgang des Wassers in Verhältniss zu dem des Salzes begünstigt ist. Der Aequivalentwerth sinkt daher auch dann im Laufe der Versuchszeit.

§. 105. Die zu einfachen Vorstellungen, die man sich über den Hergang der Hydrodiffusion machte, verleiteten zu der Annahme mancher Sätze, die sich in einzelnen Fällen gar nicht, in anderen dagegen höchstens näherungsweise bestätigen. Die Lehre, dass die Grösse und die Geschwindigkeit des wechselseitigen Austausches dem Unterschiede der Dichtigkeitsgrade der beiderseitigen Flüssigkeiten gleichen, führt bei folgerichtiger Weiterführung zur Constanz des endosmotischen Aequivalentes bei allen Dichtigkeiten, mithin zu einer unrichtigen Ableitung, weil sie die Widerstände der Osmose und die eigenthümlichen Einflüsse der porösen Scheidewände nicht in Betracht zieht. Sogar die als selbstverständlich angenommene Behauptung, dass die Hydrodiffusion so lange dauern müsse, bis sich die Dichtigkeitsunterschiede der beiderseitigen Flüssigkeiten ausgeglichen haben, braucht sich nicht für alle Fälle zu bewähren, wie wir sogleich sehen werden. Die Annahme von GRAHAM[1]), dass

[1]) GRAHAM, Ann. de Chimie. Troisième série. Tome LXV. 1862. p. 205—207. Vgl. auch L'HERMITE, Die Fortschritte der Physik im Jahre 1854. Berlin 1857. S. 22—24.

der ganze Vorgang der Endosmose nur davon herrühre, dass sich diejenige Seite der thierischen Haut, die gegen das Wasser gewendet ist, stärker als die, welche mit der Salzlösung in Berührung steht, hydratirt (§. 61) und daher hier nach dem Durchtritte Wasser abgeschieden werde, entspricht den Verhältnissen nicht. Sie würde, wenn selbst dieses nicht der Fall wäre, zur Erklärung nicht ausreichen.

§. 106. Die Wechselwirkung zweier durch eine poröse Scheidewand getrennter Flüssigkeiten kann sich schon einleiten, wenn auch nur eine derselben von den Wandungen der Lückenräume angezogen worden, weil dann der Inhalt derselben eine, wenn auch verzögerte osmotische Beziehung der zwei einander berührenden tropfbar flüssigen Massen möglich macht. Die trocken eingesetzte Scheidewand quillt zunächst durch die Flüssigkeit auf, die ihre Porenwände stärker anziehen (§. 59). So weit der Wirkungsbezirk der Theile der Scheidewand reicht [1]), wird ein gewisser Widerstand gegen die osmotische Ortsveränderung der Molecüle eingreifen, so dass sich hierdurch die Osmose verlangsamt. Es ist möglich, dass sie gänzlich fehlt, wenn das eben erwähnte Capillaritätshinderniss und der Widerstand, den die Flüssigkeiten selbst der Durchdringung vermöge der inneren Reibung oder aus anderen Ursachen entgegensetzen, grösser als der Trieb der gegenseitigen gleichartigen Vertheilung ausfällt. Es kann daher vorkommen, dass zwei Flüssigkeiten, die sich diffundiren würden, wenn sie unmittelbar über einander geschichtet wären, keine gegenseitige Veränderung darbieten, sowie sie durch eine feinporöse Scheidewand, die eine starke Anziehung zu einer von ihnen hat, gegenseitig getrennt sind. Da die Wandanziehung die geringste Beweglichkeit der Theilchen in unmittelbarer Nähe der Wandung erzeugt und die grösste jenseit ihres Wirkungsbezirkes auftritt, so wird die Osmose in der Mitte der Lückenräume am Lebhaftesten und an dem Umkreise am Trägsten vor sich gehen, wenn der Halbmesser der cylindrisch gedachten Pore grösser als der der mittelbaren Wirkungssphäre der Wandanziehung, und diese bedeutend genug ist, um einen merklichen Widerstand dem osmotischen Streben entgegenzusetzen. Das osmotische Aequivalent kann in diesem Falle mit dem endosmotischen unter sonst gleichen Verhältnissen nicht übereinstimmen. Hat sich einmal die Diffusion durch das Capillarrohr

[1]) Da die Wandanziehung die Theilchen in geringeren Entfernungen zusammenhält, vergrössert sich hierdurch unmittelbar und mittelbar die innere Adhäsion der Flüssigkeit.

des Lückenraumes geltend gemacht, so bemerkt man zunächst die bedeutendsten Unterschiede an den beiden Oberflächen der Scheidewand. Jede von diesen verhält sich zu der an sie grenzenden Flüssigkeitsmasse, wie eine ungleichartige Bodenschicht zu der darüber liegenden Flüssigkeit bei den gewöhnlichen freien Osmoseversuchen, so dass dann die Diffusion nur insofern geändert wird, als sie von der Oberflächenanziehung der festen Theile der Scheidewand gestört wird. Wie man jede beliebige Bewegung eines Körpers in eine fortschreitende und eine drehende zerlegen kann und oft genug eine befriedigende Untersuchung der Verhältnisse mittelst dieses Verfahrens in hohem Grade erleichtert, so lässt sich auch die Hydrodiffusion in die Wirkungen der Osmose freier Flüssigkeiten und in die der capillaren Thätigkeiten der Scheidewand auflösen. Man könnte sogar den Einfluss der letzteren durch einen empirischen Coëfficienten ausdrücken, wenn man zwei Flüssigkeiten das eine Mal frei und das andere Mal durch eine poröse, aber vollkommen unveränderliche, also jedenfalls nicht dem organischen Reiche angehörende und mit keinem kleinen Elasticitätsmodul versehene oder nicht sehr dehnbare Scheidewand unter sonst gleichen Nebenbedingungen wirken liesse.

§. 107. Benetzen die beiden Flüssigkeiten die Wände der Lückenräume der eingeschalteten festen Masse, so wird diejenige, welche der grösseren Anziehung entspricht, die Poren füllen, sobald nicht die Reibungswiderstände den Vorgang hindern. Wie sehr aber diese eingreifen können, lehrt der Umstand, dass eine nicht ganz geringe Druckhöhe von Wasser nicht im Stande ist, das in den Lückenräumen enthaltene Oel zu verdrängen und umgekehrt eine gleich grosse, also nach Maassgabe der geringeren Eigenschwere höhere Oelsäule das Wasser aus derselben Haut nicht entfernt. Denkt man sich aber, zwei Flüssigkeiten, welche die Wände in ungleichem Grade anziehen, stiessen aus irgend einem Grunde in derselben Pore zusammen, so wird die, welche der grösseren Wandanziehung entspricht, eine ausgehöhlte und die andere eine gewölbte Oberfläche darbieten. Jene wird allmälig diese aus dem Haarrohre verdrängen, wenn ihre Wandanziehung kräftiger als die Summe der Wandanziehung und der Reibungswiderstände der zweiten Flüssigkeit ist. Man hat daher dann den zuerst betrachteten Fall der Quellung der Scheidewand durch eine der beiden Flüssigkeiten. Obgleich er der gewöhnliche ist, so kommt es doch auch ausnahmsweise vor, dass die Verengerung der Poren nach der einen Seite hin, stärkere

Reibungshindernisse oder ein grosser einseitiger hydrostatischer Druck auch noch einen Theil der zweiten Flüssigkeit ausser der ersten in dem Lückenraume zurückhalten. Es ergibt sich aber aus dem früher Dargestellten, dass sich auch desswegen das endosmotische Aequivalent gegenüber dem Falle, dass nur eine der beiden Flüssigkeiten die Scheidewand durchtränkt, in merklicher Weise ändern kann.

§. 108. Denkt man sich die Pore des festen Trennungskörpers als ein Verbindungsrohr zweier Flüssigkeitsbehälter, so machen es die Capillarwirkungen möglich, dass die eine Flüssigkeit im Gleichgewichtszustande beider höher als die andere steht, weil die Wandanziehung und der Reibungscoëfficient Widerstände bedingen, die einer gewissen Druckhöhe entsprechen. Die zweite weniger angezogene Flüssigkeit kann also um eine dieser entsprechende Grösse weiter aufgeschichtet werden, ehe sich das Gleichgewicht herstellt. Diese Ueberschusshöhe wird zwar im Allgemeinen mit der Verkleinerung der Poren zunehmen. Der Satz aber, dass beide gerade in umgekehrtem Verhältnisse stehen, ist nicht richtig, weil nicht bloss die Porengrösse, sondern auch die Stärke der Anziehung und die die Reibung bestimmende Glätte der festen Oberfläche in Betracht kommen [1]). Man muss ferner berücksichtigen, dass die centrale Flüssigkeitsschicht des Lückenraumes eine grössere Beweglichkeit als die peripherische besitzt. Dieselbe Ueberschusshöhe, welche diese noch ruhen lässt, wird daher schon jene in Bewegung setzen. Filtrationswirkungen gesellen sich desshalb zu den Osmoseerscheinungen, sowie die Einflüsse der Drucke der beiderseitigen Flüssigkeiten ungleich ausfallen und die Poren der Scheidewand eine gewisse kleine Grösse überschreiten. Bestehen dann die Wandschichten aus einer verdünnteren und die Mittelfäden der in der Pore enthaltenen Flüssigkeit aus einer dichteren Lösung, so treibt die Filtration von dieser mehr als von jener in der Zeiteinheit durch. Unterbricht man den Versuch an einem beliebigen Punkte der Diffusionsdauer, so wird der Werth des endosmotischen Aequivalentes um so kleiner ausfallen, eine je dichtere Lösung die Filtration in der Mitte des Lückenraumes durchgeführt und je länger sie angehalten hat. Man glaubte diesem Uebelstande abzuhelfen, indem man dieselbe Spiegelhöhe

---

[1]) Ein in einem gläsernen Haarrohre enthaltenes Luftbläschen kann beträchtliche Drucke ohne Verrückung ertragen. Eine Reihe hierauf bezüglicher, auch auf den Organismus anwendbarer Versuche gibt Jamin, Comptes rendus de l'acad. de Paris. Vol. L. 1860. p. 172—176.

den beiden Flüssigkeiten am Anfange des Versuches gab und diese Beziehung von Zeit zu Zeit wiederherstellte, sowie die durch die Diffusion erzeugten Volumensänderungen die über der Scheidewand befindlichen Flüssigkeitshöhen ungleich gemacht hatten. Dieses konnte nicht genügen, weil die Unterschiede in den Zwischenzeiten fortbestanden und die mit der Wechselwirkung sich ändernden Eigenschweren der Flüssigkeiten bei dem ganzen Verfahren unbeachtet blieben.

§. 109. Wie es die Wandanziehung möglich macht, dass die eine der zwei Flüssigkeiten im Gleichgewichtszustande höher als die andere steht, so kann sie es auch bedingen, dass alle Diffusionsströmung aufhört, ehe eine vollständige Ausgleichung der Dichtigkeiten beider Flüssigkeiten stattgefunden hat. Die Bewegung wird jedes Mal aufhören, sowie irgend ein Widerstand, der sich ihr entgegensetzt, dem noch vorhandenen osmotischen Streben an Grösse gleicht. Ein solches Hinderniss kann schon von der Klebrigkeit und der inneren Reibung einer oder beider Flüssigkeiten hergestellt werden. Die freie Osmose stockt daher oft genug, ehe eine völlige Ausgleichung eingreift. Dasselbe wird sich um so eher für die Hydrodiffusion wiederholen, als hier noch der von der Wandanziehung stammende Widerstand hinzukommt. Wie die Filtration bei grossen Porenräumen und kleinen Werthen der Wandanziehung am Leichtesten eingreift, so hat die unvollkommene Ausgleichung ihren günstigsten Boden bei kleinen Lücken und starken Anziehungskräften der Wandungen. Dieses und die grössere Wasseranziehung der thierischen Häute erklären es, wesshalb bei ihnen das endosmotische Aequivalent der Salzlösung mit der Abnahme der Porengrösse zuerst steigen und später bis auf Null sinken kann.

§. 110. Es kommt schon bei der Osmose vor, dass die Anwesenheit eines dritten Körpers die Diffusionsgeschwindigkeit eines zweiten innerhalb eines ersten in merklichem Grade ändert. Es ergibt sich aus dem eben Dargestellten, dass der Einfluss der Scheidewand einen solchen Wechsel in noch höherem Grade bei der Hydrodiffusion erleichtern kann. Besitzt einer der durchdringenden Körper eine grosse Zähigkeit oder schlagen sich feste Theile in Folge einer Zersetzung, welche die Diffusion einleitet, nieder, so verengern sich nach und nach die Lückenräume. Der Austausch verlangsamt sich zuert und hört zuletzt gänzlich auf.

§. 111. Der Porositätsunterschied, den die einzelnen Schichten einer thierischen Haut darbieten, erklärt es, wesshalb es nicht immer

gleichgültig ist, welche Seite derselben einer bestimmten Flüssigkeit zugewendet wird. MATTEUCCI und CIMA hatten schon bemerkt, dass die Ergebnisse der Hydrodiffusion ungleich ausfallen, je nachdem man die innere oder äussere Fläche der Froschhaut gegen dieselbe Flüssigkeit gewendet hat. WITTICH fand in Filtrationsversuchen, dass die innere Seite der Eischalenhaut mehr Wasser als die äussere durchliess. Diffusionsversuche lehrten aber zugleich, dass bis zu einer gewissen Grenze umsomehr Eiweiss durch die Schalenhaut des Hühnereies oder das Amnion drang, je reicher der Salzgehalt der äusseren Flüssigkeit war. Ueberstieg er eine gewisse Grösse, so nahm die Bewegung des Eiweisses wiederum ab. Wird eine Kochsalzlösung immer gesättigt erhalten, so gleicht das endosmotische Aequivalent des Salzes nach ECKHARD 2,8 bis 2,9 und bleibt zwischen $+ 3^0$ C. und $+ 40^0$ C. unverändert, wenn man die glatte Seite des als Scheidewand dienenden frischen Herzbeutels des Kalbes der Salzlösung zugewandt hat. Sieht sie gegen das Wasser, so erhält man nur 2,6 bis 2,7 als Aequivalentwerth. Benutzt man eine organische Scheidewand zur Dialyse, wie GRAHAM es nennt, oder zur Trennung von Bestandtheilen zweier Flüssigkeiten, so wird es oft nicht gleichgültig sein, welche Seite man der einen von ihnen zukehrt.

§. 112. Es kommt schon bei den Capillaritätserscheinungen vor, dass sich die Verhältnisse je nach Verschiedenheit einzelner chemischer Einwirkungen entgegengesetzt gestalten. WILSON und SWAN fanden z. B., dass Chloroform, welches eine concave Oberfläche in einem Glasrohre zeigt, eine convexe Begrenzungsfläche darbietet, sowie man Wasser, wasserhaltige Salpetersäure, Schwefelsäure oder Salzsäure darüber giesst. Nimmt man dagegen wässerige Lösungen von Kali, Natron oder Ammoniak, so wird der grösste Theil des Flüssigkeitsspiegels eben und krümmt sich nur dicht am Rande nach abwärts. Das Kali bildet mit dem Chloroform Chlorkalium und ameisensaures Kali. Aehnliche Verhältnisse können sich auch bei der Hydrodiffusion geltend machen. Oel und Wasser, die durch eine thierische Haut getrennt sind, bleiben unverändert. Nimmt man aber eine Auflösung eines Alkali oder eine solche von gallensaurem Natron oder von Galle statt reinen Wassers, so kann zunächst eine Verseifung und in Folge dessen ein Uebertritt nicht bloss der unmittelbar verseiften Verbindung, sondern auch ein solcher der von ihr eingehüllten Oeltröpfchen, besonders unter stärkerem Drucke der Oelsäule, vorkommen.

§. 113. Die Osmose und die Wandanziehung der Capillarräume gehören zu den sogenannten Molecularwirkungen. Es darf daher nicht befremden, dass der Einfluss der Schwere ihren Kräften gegenüber verschwindend klein bleibt. Man überzeugt sich auch, dass die Hydrodiffusion nicht aufhört, wenn ein Druck von mehreren Atmosphären auf derjenigen Flüssigkeit, deren Rauminhalt zunimmt, lastet. Fick glaubte gefunden zu haben, dass das endosmotische Aequivalent des Kochsalzes 6,069 betrug, wenn es sich unter und 5,088, wenn es sich über der aus Collodium bestehenden Scheidewand befand. Es ginge also hiernach mehr Salz in einer der Schwere entgegengesetzten Richtung durch. Die späteren Versuche, die Eckhard und Vering an thierischen Häuten anstellten, konnten einen solchen Einfluss der Schwere und eine Wirkung derselben auf die Hydrodiffusion überhaupt nicht nachweisen.

§. 114. Wir haben §. 79 gesehen, dass sich die Steighöhen des Wassers in Capillarröhren mit der Wärmezunahme verkleinern. Dieser Umstand übt keinen merklichen Einfluss auf die Verhältnisse der thierischen Häute aus, weil die den kleinen Porenquerschnitten entsprechenden möglichen Steighöhen um vieles grösser als die Dicke der Häute selbst bei den ungünstigsten Temperaturen ausfallen. Die Zunahme der Wärme kann aber die Zähigkeit, die innere Reibung und die Wandanziehung verkleinern. Die Geschwindigkeit der Hydrodiffusion pflegt sich auch desshalb mit der Erhöhung derselben zu vergrössern. Da aber die einzelnen Bedingungsglieder in den mannigfachsten Richtungen wechseln und sich sogar der Zustand der Glätte oder der Rauhigkeit der Wandungsoberfläche möglicher Weise ebenfalls ändert, so hat man hier eine im Einzelnen nicht verfolgbare Reihe von Ursachen, deren Gesammteinfluss man im günstigsten Falle durch einen oder mehrere beständige Coëfficienten wird ausdrücken können.

§. 115. Der Name elektrische Endosmose beruht im Wesentlichen auf einem Missverständnisse. Die Triebkraft des in einem geschlossenen galvanischen Kreise bewegten elektrischen Stromes bewirkt es, dass gewisse Bestandtheile in einer der Richtung des positiven Stromes entsprechenden Bahn oder in anderen Fällen in umgekehrter fortgetrieben werden. Man pflegte die Versuche so anzustellen, dass die strömende Flüssigkeit eine poröse Scheidewand durchsetzte. Ging dann eine merkliche Menge einseitig weiter, so hinderte die Scheidewand die völlige Ausgleichung nach dem Gesetze des hydrostatischen Gleichgewichts. Die Capillar-

wirkungen der Lückenräume setzten dabei anderseits einen gewissen Widerstand entgegen und verkleinerten daher den Ausschlag, den die Triebkraft des Stromes ohne sie erzeugt haben würde. Die Endosmose bildete also nicht nur kein wesentliches Glied der Erscheinung, sondern sogar ein Hinderniss, dass man nur aus Nebenrücksichten in den Versuch eingeführt hatte. Es versteht sich übrigens von selbst, dass sich das endosmotische Aequivalent (§. 103) ändern wird, wenn die Triebkraft Wasser oder die Molecüle des festen Körpers in einer von der Endosmose unabhängigen Richtung fortreibt.

§. 116. Die Aufnahme, die Absorption oder die Verschluckung eines Gases von einer Flüssigkeit, zu der es keine chemische Anziehung hat, entspricht nur einem Einzelfalle der Osmose und das Eindringen desselben in eine durch eine poröse Wand geschiedene flüssige Masse einem solchen der Hydrodiffusion. Man kann sich vorstellen, dass die freie Oberfläche einer Flüssigkeit ein sie unmittelbar berührendes Gas oder die einzelnen Bestandtheile einer Mengung von Luftarten nach Maassgabe der gegenseitigen Anziehungskräfte verdichtet und sich dann die Gase innerhalb der Molecularporen der Flüssigkeit allmälig verbreiten. Die Grösse der Lückenräume, die Anziehung, die Adhäsions- und Reibungswiderstände machen sich hier wahrscheinlich ebenfalls geltend. Sie bestimmen den dem Sättigungszustande entsprechenden Absorptionscoëfficienten oder den grössten Werth des Gasvolumens, das ein Flüssigkeitsvolumen bei einer bestimmten Grösse des Druckes und der Wärme aufnimmt. Wie die durch das Pulverisiren der festen Körper erzeugte Oberflächenvergrösserung die Verdichtung und die Verschluckung der Luftarten begünstigt (§. 95), so erreicht auch die Gasaufnahme einer Flüssigkeit ihre grösstmögliche Stärke am Ehesten, wenn man diese mit dem Gase anhaltend schüttelt. Kommt es häufig vor, dass Flüssigkeiten von geringerer Eigenschwere von einem Gase mehr verschlucken, als solche von grösserer, so rührt dieses wahrscheinlich von weiteren Lückenräumen, wenigstens in einzelnen Fällen, her. Da aber überdies noch die Anziehung, die Zähigkeit und die innere Reibung als Bedingungsglieder wirken, so erklärt sich hieraus, wesshalb auch bisweilen specifisch schwerere Flüssigkeiten einen grösseren oder leichtere einen kleineren Absorptionscoëfficienten darbieten. Es rührt überdiess von jener Anziehung her, dass man nicht die Gesammtmenge der Gase, die von einem gepulverten Körper oder einer Mischung von Flüssigkeit und

Festkörpern verschluckt worden, durch die Luftpumpe entfernen kann [1]).

§. 117. Das Henry'sche Gesetz sagt aus, dass die Volumenseinheit einer und derselben tropfbaren Flüssigkeit die gleiche Volumensmenge desselben Gases unter den verschiedensten äusseren Drucken desselben aufnimmt, sobald die Wärme unverändert bleibt. STEFAN [2]), der die mathematischen Beziehungen dieser Absorptionserscheinungen am Ausführlichsten verfolgte, gab auch hierfür eine schärfere Fassung. Die von einem bestimmten Absorbenten aufgenommene Menge eines und desselben Gases ist hiernach unter sonst gleichen Umständen dem Drucke proportional, den das äussere Gas am Ende der Absorption auf den Absorbenten ausübt [3]). Nimmt man das Mariotte'sche Gesetz, dass sich die Gasdichten wie die Drucke, die auf ihnen lasten, und die Volumina umgekehrt wie diese verhalten (§. 10), als streng richtig an, so folgt, dass das Gewicht jenes aufgenommenen, sich immer gleichbleibenden Volumens mit dem Drucke, der auf dem Gase am Ende der Absorption lastet, vollkommen gleichmässig zunimmt. Wie aber die Erfahrung geringe, für die gewöhnliche praktische Anwendung nicht in Betracht kommende Abweichungen von dem Mariotte'schen Gesetze zeigt [4]), so darf auch das Henry'sche auf eine nur annähernde Gültigkeit Anspruch machen, weil es voraussetzt, dass ein dichteres Gas genau die gleichen Absorptionsbedingungen darbietet, wie ein dünneres, was nur innerhalb gewisser Grenzen selbst im günstigsten Falle gelten wird. Da die Absorptionscoëfficienten in höherer Wärme abzunehmen pflegen, die Verdichtung des Gases innerhalb der Flüssigkeit aber Wärme frei macht, so muss man diese Umstände bei allen feineren Betrachtungen ebenfalls berücksichtigen. Nimmt man für ein Gemenge von Gasen an, dass nur der Theildruck jedes einzelnen, wie bei der Dalton'schen Norm (§. 97), für die aufgenommene Quantität maassgebend ist, so setzt dieses voraus, dass sich der

---

1) JAMIN und BERTRAND, Die Fortschritte der Physik im Jahre 1853. Berlin 1856. 8. S. 134.

2) STEFAN, Sitzungsber. d. Wiener Akad. Bd. XXVII. 1857. S. 375—430.

3) STEFAN, ebendaselbst S. 403. 404.

4) Die Versuche von REGNAULT lehrten, dass die Atmosphäre, der Sauerstoff, der Stickstoff und die Kohlensäure eine stärkere, mit dem Drucke zunehmende Zusammendrückbarkeit, der Wasserstoff dagegen eine kleinere und abnehmende, als das Mariotte'sche Gesetz fordert, zeigten. Die Unterschiede sind aber bei nicht grossen Drucken unmerklich.

Absorptionscoëfficient einer Luftart durch die gleichzeitige Aufnahme einer zweiten nicht ändert. Dieser Ausgangspunkt besitzt aber wahrscheinlich ebenfalls weder eine strenge, noch eine allgemeine Gültigkeit.

§. 118. Der Henry'sche Satz ergibt unmittelbar, dass die äussere Druckentlastung eine ihr proportionale Menge des verschluckten und indess nicht chemisch gebundenen Gases wiederum entfernen muss. Das Schäumen der kohlensäurereichen Getränke bei gewöhnlichem Luftdrucke gibt uns ein Beispiel dieses Einflusses der Druckabnahme. Bedenkt man aber, dass es unmöglich ist, die letzten Mengen eines verschluckten Gases selbst durch die grösstmögliche Luftverdünnung, die mit Unrecht sogenannte Herstellung eines luftleeren Raumes, zu entfernen (§. 116), dass die zurückgebliebene Menge bei zähen Flüssigkeiten, wie dem Blut oder anderen organischen Säften, grösser ausfällt, so wird man zugeben, dass auch hier die verschiedenartigen Anziehungsbedingungen keinen bloss unmerklichen Einfluss ausüben, den man aus der Betrachtung auszuschliessen berechtigt wäre. Man würde ebenso irren, wenn man die allgemeine Norm aufstellen wollte, dass nur die Wärmeerhöhung die verschluckten Gase auszutreiben vermag. Man kann zwar Flüssigkeiten durch Auskochen, wie man sich ausdrückt, luftleer machen oder, richtiger gesagt, die verschluckten Gase bis auf geringe Spuren durch höhere Wärme entfernen. Allein auch die durch Gefrieren erzeugte Zusammenziehung der Theilchen oder jede andere Art von Erstarrung verdrängt eine gewisse Menge der mechanisch gebundenen Gase. Diese werden in beiden Fällen in ähnlichen Verhältnissen ausgetrieben, als sie aufgenommen worden. Da Wasser von 12° einen Absorptionscoëfficienten von 0,015 für Stickstoff, von 0,02544 für Kohlensäure und von 0,031 für Sauerstoff hat, so enthält das von ihm aus der atmosphärischen Luft verschluckte Gasgemenge mehr Sauerstoff als die Atmosphäre selbst. Die Gasblasen, die das Eis austreibt, zeigen die gleiche Eigenthümlichkeit.

§. 119. Bringt man eine Flüssigkeit, die mit einer Gasart gesättigt worden, in eine andere Luftart, so hat man nach dem Dalton'schen Grundsatze (§. 97) für das aufgenommene Gas dieselbe Beziehung, als wenn sich die flüssige Masse in einem luftleeren Raume befände. Es tritt soviel von dem verschluckten Gase aus, bis sein Theildruck der Spannung des gleichartigen, in der Flüssigkeit zurückbleibenden Gases, abgesehen von den früher erwähnten

Anziehungserscheinungen, das Gleichgewicht hält. Das ursprünglich darüber stehende Gas wird aber nach Maassgabe seines Absorptionscoëfficienten und seines partiellen Enddruckes aufgenommen. Leitet man ein zweites Gas durch eine Flüssigkeit, die ein erstes schon verschluckt hat, so treibt es dieses aus, sowie es von der Flüssigkeit stärker angezogen wird. Die Absorptionscoëfficienten der beiden Gase bestimmen es, welche Menge des zweiten nöthig ist, um das erste gänzlich zu entfernen. Führt man zu wenig ein, so bleibt eine entsprechende Mischung beider Luftarten zurück, wie wenn sie aus einem Gemenge verschluckt worden wären.

§. 120. Wir haben gesehen (§. 62), dass sich die Krystalle, die sich aus einer Lösung niederschlagen, an festen Körpern am Reichlichsten ansetzen. Dasselbe wiederholt sich für die aufgenommenen Gasmassen, die sich aus irgend einem Grunde aus der Flüssigkeit abscheiden, wenn die Anziehungskräfte der festen Theile begünstigend einwirken. Man hat das Gleiche, wenn die Gase von den dichten Massen aufgenommen werden können. Dieser Einfluss kehrt auch wahrscheinlich in vielen der Festgebilde wieder, welche an die einzelnen thierischen Säfte grenzen oder ihnen beigemengt sind, wie die Blutkörperchen.

§. 121. Schaltet sich eine trockene poröse Scheidewand zwischen dem Gase und der Flüssigkeit ein, so können sich Capillareinflüsse der Lückenräume geltend machen. Die Absorptionsgeschwindigkeit vermag auf diese Weise abzunehmen. Ist die Scheidewand mit derselben tropfbaren Flüssigkeit wie die dahinterliegende getränkt, so werden die Porenwirkungen nicht bloss in ähnlicher Weise auftreten, sondern auch den Absorptionscoëfficienten in den verdichteten Wandschichten ändern. Hat man endlich den in den Lungen und der Haut vorkommenden Fall, dass die an die Luft grenzende poröse Scheidewand mit einer andern Flüssigkeit als die dahinterliegende zweite getränkt ist, so bestimmt der Absorptionscoëfficient der ersten die ursprüngliche Aufnahme. Das in ihr enthaltene Gas dringt dann durch die Zwischenmasse nach der zweiten vor und vertreibt ein oder mehrere in ihre mechanisch gebundene Gase, wenn es die Anziehungskräfte gestatten. Der Sauerstoff der Athemluft durchsetzt auf diese Art zuerst die poröse Schleimhaut der Bronchien und der Lungenbläschen mit dem sie überziehenden Schleime, ehe er zum Blute gelangt. Die Kohlensäure kann anderseits in die Athmungshöhlen der Lungen abdunsten. Es wird dann um so weniger in der Zeiteinheit austreten, je kohlensäure-

reicher die Lungenluft selbst ist (§. 97). Hindert das Erhenken den Luftwechsel, so nimmt auf diese Weise die Kohlensäureausscheidung aus dem Blute immer mehr ab. Sie hört gänzlich auf, wenn der Theildruck der Kohlensäure der Lungenluft, abgesehen von den Anziehungswiderständen, der Spannung der Kohlensäure in der Bronchialschleimhaut und dem Blute der Lungengefässe gleicht.

§. 122. Stellt man eine mit Wasser zum Theil angefüllte Röhre in Quecksilber und schliesst sie oben mit einer thierischen Haut oder einem anderen porösen Körper, so steigt das Quecksilber nach Maassgabe der Verdunstung des Wassers in der Röhre empor. Enthält es Salze aufgelöst, so geht die Verdampfung nach Bède[1]) um so langsamer vor sich, je dichter die Lösung ist. Man hat also das Gegentheil, wie bei der endosmotischen Wechselwirkung.

§. 123. Nennt man Hydrodynamik die Lehre, welche die Gesetze der Bewegungen der Flüssigkeitstheilchen erläutert und Hydraulik die, welche von den technischen Beziehungen des Laufes der Gewässer handelt, so lehrt die Geschichte, dass jene noch nicht anderthalb Jahrhunderte alt ist, diese dagegen eine hohe Stufe der Entwickelung schon vor Jahrtausenden erreicht hat. Obgleich die ersten mathematischen Köpfe des verflossenen und des gegenwärtigen Jahrhunderts ihre Kräfte hydrodynamischen Aufgaben widmeten, so hallt immer mit Recht von Zeit zu Zeit die Klage wieder, dass die hierdurch gewonnenen Ergebnisse keine vollständige oder überhaupt keine praktische Anwendung finden, weil die Voraussetzungen, von denen die hydrodynamischen Hauptgleichungen ausgehen, einfacher als die in der Natur sich vorfindenden Bedingungen sind. Viele betrachteten daher gerade die höchsten Leistungen auf diesem Gebiete mehr als mathematische Kunstübungen, denn als wahre physikalische Erläuterungen. Wir haben schon §. 6. gesehen, welche lähmende Einschränkungen die Integration der hierher gehörenden Differentialgleichungen meistentheils fordert. Einzelne Sätze der Hydrostatik endlich müssen bei ihrer Uebertragung auf hydrodynamische Betrachtungen wesentlich verändert werden, weil sonst die unrichtigsten Folgerungen zum Vorschein kämen[2]).

---

[1]) E. Bède, Recherches sur la liaison entre les phénomènes de capillarité et d'endosmose. Mém. couronnés de l'acad. de Bruxelles. Tome XXXI. Bruxelles 1863. 4. p. 19. 20.

[2]) Wir werden im Verlaufe dieser Darstellung kennen lernen, dass die drei Koryphäen der Hydrodynamik des vorigen Jahrhunderts, d'Alembert, Euler und Lagrange, selbst hervorgehoben, dass man naturwidrige Voraussetzungen machen müsse, um zu den

§. 124. Die Begründung der wissenschaftlichen Hydrodynamik ging von Schülern von GALILEI aus. CASTELLI [1]) stellte zuerst (1628) den Grundsatz auf, dass die Geschwindigkeit einer Flüssigkeit im umgekehrten Verhältnisse des Querschnittes des Flussbettes steht. TORICELLI (1643) gab das nach ihm benannte Toricelli'sche Theorem der Hydrodynamik als ein Resultat der Erfahrung. Denkt man sich, eine Flüssigkeit ströme aus der Bodenöffnung eines Behälters, dessen Inhalt immer auf gleicher Höhe durch stets erneuerten Zufluss gehalten wird, so hat jedes Theilchen, das zur Ausflussöffnung hervortritt, dieselbe Geschwindigkeit, wie wenn es von der senkrechten Höhe, die von dem Flüssigkeitsspiegel bis zur Ausflussöffnung reicht, herabgefallen wäre. TORICELLI [2]) schliesst daher

Grundgleichungen der Hydrodynamik zu gelangen. Sie stellten daher eine nur beschränkte Anwendung auf die in der Wirklichkeit gegebenen Verhältnisse in Aussicht. Manche in der Mathematik bewanderte Techniker aber, denen die Abweichungen von Theorie und Erfahrung grell entgegentraten, urtheilten in dieser Hinsicht härter. BOSSUT z. B. (Traité théorique et expérimental d'Hydrodynamique. Nouvelle Édition. Tome I. An IV. 8. p. XVII.) nennt geradezu die Ergebnisse der Rechnungen der obengenannten Mathematiker schätzbares geometrisches Material, nicht aber Ausdrücke eines richtigen Bildes der wirklichen Bewegungen der Flüssigkeiten. WEISSBACH (Die Experimental-Hydraulik. Freiberg 1855. 8. S. V.) hält es für unmöglich, die Bewegungsverhältnisse des Wassers mit Hülfe einiger angenommenen Voraussetzungen abzuleiten, so lange die mechanischen Wirkungen der Flüssigkeitstheile auf einander und auf feste Körper nicht näher bekannt sind. MORIN (Comptes rendus de l'académie de Paris. Tome LVIII. 1864. p. 725—729 und 773—777) behauptet sogar, dass die mathematischen Formeln, die man über die Bewegung der Flüssigkeiten aufstellte, mehr geschadet als genützt haben (p. 725), weil die zum Grunde gelegten Annahmen zwar nicht falsch, aber unvollständig waren (p. 725. 726). Gerade einer der Hauptpunkte, die durch Hindernisse des Strombettes erzeugten Wirbel würden gar nicht berücksichtigt. PONCELET (Lehrb. der Anwendung der Mechanik auf Maschinen. Herausgegeben von E. H. SCHNUSE. Bd. II. Darmstadt 1848. 8. S. 1—3) urtheilt milder, indem er eine nur geringe Anwendung den hydrodynamischen Gleichungen der Schwierigkeit ihrer Integration wegen zugesteht, viele zur Erleichterung derselben aufgestellte Nebenannahmen dagegen für gerechtfertigt hält, weil hierdurch Ergebnisse erzielt werden, welche mit denen der Erfahrung übereinstimmen.

ST. VENANT (Die Fortschritte der Physik im Jahre 1846. Berlin 1848. 8. S. 67) hob in neuerer Zeit die schon D'ALEMBERT und EULER bekannte Unanwendbarkeit der gewöhnlichen hydrostatischen Theoreme auf die Hydrodynamik am Nachdrücklichsten hervor. Setzt man voraus, dass der Druck der Flüssigkeit nach allen Richtungen gleich und immer senkrecht zur gedrückten Fläche ist (§. 15), so muss die Einwirkung einer bewegten Flüssigkeit auf einen in ihr enthaltenen symmetrischen oder unsymmetrischen Körper Null sein. Nur die Annahme einer inneren Reibung kann zu naturgemässeren Ergebnissen führen.

[1]) Siehe z. B. BOSSUT a. a. O. Tome I. p. VIII.

[2]) BOSSUT, ebendas. p. IX.

der Theorie seines Lehrers GALILEI gemäss, dass die Ausflussgeschwindigkeit der Quadratwurzel der Druckhöhe gleicht[1]). DANIEL BERNOULLI[2]) zeigte später, dass diese Norm, die VARIGNON[3]) unbedingt zu beweisen versucht hatte, nur dann unverändert gelten könnte, wenn man die Ausflussöffnung als unendlich klein dem Behälter gegenüber anzusehen im Stande wäre.

§. 125. Einer der ersten Mathematiker aller Zeiten, der nicht bloss die Grösse seines Geistes durch seine Leistungen, sondern auch die seines Charakters durch die nachsichtsvolle Beurtheilung fremder und die bescheidene Darstellung seiner eigenen Arbeiten bewährte, LAGRANGE[4]) erklärt den hydrodynamischen Excurs von NEWTON[5]) für den am wenigsten genügenden Theil in dessen grossem Werke über die mathematischen Grundlagen der Naturphilosophie. Denkt man sich, eine Flüssigkeit ströme aus einem Behälter, dessen Spiegel beständig bleibt, in den leeren Raum durch eine Bodenöffnung aus, so soll der Strahl einen bewegten inneren und einen ruhenden äusseren Theil enthalten. Jener, der Strudel oder die Katarakte entspreche einem Conoid, das durch die Umdrehung einer Hyperbel vierten Grades um die senkrechte Achse erzeugt worden. Diese mit der unmöglichen Voraussetzung einer ruhenden seitlichen Flüssigkeitsmasse verbundene Annahme sollte das Toricelli'sche Theorem erklären[6]). VARIGNON[7]) leitete dasselbe mit mehr Glück, wenn auch nicht naturgemäss von dem Drucke der überstehenden Flüssigkeitssäule, die als einziger Grund der Bewegung der Flüssigkeitstheilchen anzusehen sei, her.

§. 126. Die systematische Lehre von der Bewegung der Flüssigkeiten beginnt mit der Hydrodynamik von DANIEL BERNOULLI und der seines Vaters JOHANNES BERNOULLI. Obgleich das Werk

---

1) Man hat: $v = \sqrt{2gh}$, wenn v die Geschwindigkeit, g die Beschleunigung der Schwerkraft und h die Druck- oder die Fallhöhe bezeichnet.

2) DAN. BERNOULLI, Hydrodynamica. Argentorati 1738. 4. p. 32. 33.

3) MONTUCLA, Histoire des Mathématiques. Nouvelle Édition. Tome III. Paris 1802. 4. p. 681.

4) J. L. LAGRANGE, Mécanique analytique. Nouvelle (seconde) Édition. Tome II. Paris 1815. 4. p. 278.

5) I. NEWTON, Philosophiae naturalis principia mathematica. Ed. III. Londini 1726. 4. p. 327—335.

6) LAGRANGE, ebendas. p. 278. 279.

7) LAGRANGE, ebendas. p. 279—281.

des Letzteren [1]) die Jahreszahl 1732 und das des Ersteren [2]) die 1738 trägt, so erwähnt doch schon JOH. BERNOULLI [3]) die Arbeit seines Sohnes als kürzlich erschienen und bespricht die bald zu erläuternde Grundlage, von der dieser bei seinen Untersuchungen ausgegangen [4]). JOH. BERNOULLI glaubt, die Hauptursache des Mangels einer wissenschaftlichen Hydrodynamik liege darin, dass früher die kleinen Strudel und der durch sie erzeugte Verlust an Druckkraft vor dem Uebergange aus einem weiteren in einen engeren Bezirk des Flussbettes oder hinter ihm in dem entgegengesetzten Falle vernachlässigt worden. Alle Nebenbedingungen der Zähigkeit, der inneren Reibung, der Gleitung an den Wänden, die Adhäsionserscheinungen und der Einfluss zu enger Röhren werden bei seinen Betrachtungen ausdrücklich bei Seite gelassen [5]). BERNOULLI beweist das Toricelli'sche Theorem, unter der Voraussetzung, dass man den Durchmesser des cylindrisch gedachten Durchflussrohres der Druckhöhe des Behälters gegenüber vernachlässigen kann [6]), und kommt später zu dem Satze, dass ein immer enger werdendes Röhrensystem die Flüssigkeit am Ende so hervortreten lassen soll, als sei die letzte und engste Röhre an dem Druckbehälter unmittelbar befestigt, dass also ein Strudel eine Summe von Strudeln ersetzen könne [7]). Er bestimmt die erste Schnellhöhe der Flüssigkeit einer zweischenkligen an einem Ende geschlossenen und mit dem anderen untergetauchten und hierauf geöffneten Röhre als die doppelte Höhe des Niveauunterschiedes vor dem Oeffnen [8]), berechnet den Widerstand der Flüssigkeit gegen einen schwimmenden festen Cylinder [9]) und leitet aus seinen Voraussetzungen her, dass die senkrechte Wirkung des

---

[1]) JOH. BERNOULLI, Hydraulica nunc primum detecta ac demonstrata directe ex fundamentis mechanicis. Anno 1732. Opera omnia. Tom. IV. (Quo continentur ανεκδοτα.) Lausannae et Genevae 1742. 4. p. 387—493. Vergl. auch Commentarii Petropolitani. Tom. IX. 1737. p. 3—49 und 1738. p. 207—260.

[2]) DAN. BERNOULLI, Hydrodynamica sive de viribus et motibus fluidorum commentarii. Argentorati 1738. 4.

[3]) JOH. BERNOULLI a. a. O. p. 392.

[4]) DAN. BERNOULLI beschwert sich daher auch in einem Briefe an EULER, dass sein Vater seine Prioritätsrechte vernachlässige. Siehe P. H. FUSS, Correspondance mathématique et physique de quelques célèbres Géomètres du XVIIIième siècle. St. Petersbourg 1843. 8. p. 530—532.

[5]) JOH. BERNOULLI p. 396.

[6]) p. 401.

[7]) p. 410. 411.

[8]) p. 419—421.

[9]) p. 422.

Widerstandes mit dem Producte der Dichte und des Quadrates der Geschwindigkeit der Flüssigkeit wächst[1]). Die Bedingungen der gleichen Ausflussgeschwindigkeit bei den verschiedensten Gestalten zweier Behälter oder Canäle[2]), die Ursache des Rückstosses[3]) und die Schwankungen einer Flüssigkeitssäule in einer Röhre, deren obere Oeffnung bei dem Versenken geschlossen war und dann plötzlich geöffnet worden[4]), sind in dem Werke ebenfalls behandelt.

§. 127. DANIEL BERNOULLI stützte seine Ausgangsgleichung und die aus ihr folgenden Herleitungen auf den Grundsatz der Erhaltung der lebendigen Kraft, den HUYGENS[5]) zuerst in veränderter Form in seinen Untersuchungen über den Schwingungsmittelpunkt eines materiellen Pendels aufgestellt und den später JOH. und DAN. BERNOULLI[6]) auf Grundlage Leibnitzischer Ansichten näher erläutert und vielseitig angewandt haben. Die nähere Betrachtung[7]) lehrt, dass man diesen Grundsatz ohne Berücksichtigung

---

[1]) JOH. BERNOULLI p. 423.

[2]) p. 447.

[3]) p. 484—488.

[4]) p. 488.

[5]) Siehe LAGRANGE, Mécanique analytique. Tome I. 1811. p. 233—235.

[6]) JOH. BERNOULLI, Opera omnia. Tom. III. Lausannae et Genevae 1743. p. 35 fgg. und p. 240 fgg. DAN. BERNOULLI, Hydrodynamica p. 8 fgg. Vgl. auch J. F. MONTUCLA, Histoire des mathématiques. Nouvelle Édition. Tome III. Paris. An X. p. 623. 624.

[7]) Da der Grundsatz der Erhaltung der Kraft auch für die Physiologie von Bedeutung ist, so wollen wir einiges Nähere hinzufügen.

CARTESIUS (Epistolae. Amstelodami 1682. 4. P. II. p. 133) bestimmte die Stärke einer Kraftwirkung nach dem Producte der Masse und der Geschwindigkeit des thätigen Körpers, also nach dem, was man jetzt Quantität oder Grösse der Bewegung nennt. Diese Ansicht wurde auch von DESAGULIERS, STIRLING, CLARKE und MACLAURIN vertheidigt. (Siehe z. B. MACLAURIN, Exposition des découvertes philosophiques de NEWTON. Traduit par Lavirotte. Paris 1749. 4. p. 122—125.) Die erste Mittheilung von LEIBNITZ (Acta eruditorum 1686. p. 161. Opera omnia. Ed. Dutens. Tom. III. 1768. 4. p. 180) bekämpft jene Schätzungsweise und drückt einen Grundsatz von CARTESIUS naturgemässer aus. DESCARTES (Epistolae. P. I. p. 104 und P. II. p. 110) stellte schon die Ansicht auf, dass die Bewegungsgrösse in der Welt unveränderlich sei. LEIBNITZ behauptet das Gleiche für die bewegenden Kräfte und sagt bei dieser Gelegenheit: Itaque cum rationi consentaneum sit, eandem motricis potentiae summam in natura conservari et neque imminui, quoniam videmus nullam vim ab uno corpore amitti, quin in aliud transferatur, neque augeri, quia vel ideo motus perpetuus mechanicus nuspiam succedit. Ein anderer Aufsatz desselben (Acta eruditorum 1695. p. 145—147. Opera Tom. III. p. 315—324) nennt todte Kraft (vis mortua), was später JOH. BERNOULLI (Opera. Tom. III. p. 240. 241) als Druck und z. Thl. ADAMI (Specimen hydrodynamicum de resistentia corporum in fluidis motorum. Berolini 1752. 4. p. 4) als wirkungs-

der Aequivalenz der Kräfte nur auf solche Bewegungserscheinungen übertragen darf, bei denen kein Verlust und kein Gewinn lebendiger Kraft durch Nebenbedingungen eingeführt wird, also

---

lose Kraft (vis iuefficax) zu bezeichuen vorschlug und das der Spannkraft von HELMHOLTZ entspricht. Mortuam vim voco, sagt LEIBNITZ, quia in ea nondum existit motus, sed tantum sollicitudo ad motum, alia vero vis ordinaria est cum motu actuali conjuncta, quam voco vivam. Indem er diese mit den Verhältnissen eines emporgeworfenen Körpers vergleicht, misst er sie durch das Product der Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit und betrachtet sie als eine nicht aus den übrigen allgemeinen Eigenschaften der Körperwelt herzuleitende Eigenthümlichkeit. (Vgl. auch MONTUCLA a. a. O. Tome III. p. 630. 631. JULLIEN, Problêmes de mécanique rationelle. Tome II. Paris 1855. 8. p. 57—59 und die Vertheidigung der Leibnitz'schen Schätzungsweise von EULER in dessen Opera postuma. Tom. II. Petropoli 1862. 4. p. 39—42.) Sie entspricht also dem, was man als Arbeitsfähigkeit eines bewegten Körpers aufgefasst hat. (L. NATANI, Materie, Aether und lebendige Kraft. Berlin 1860. S. S. 12.) Man kann sich die Verhältnisse am Einfachsten klar machen, wenn man sich vorstellt, dass die lebendige Kraft eines fallenden Körpers dem Producte des Gewichtes desselben p und der Fallhöhe h gleicht. Nennt mau m die Masse, g die Beschleunigung der Schwerkraft und v die Geschwindigkeit, so gibt die physikalische Erklärung von Gewicht und Masse $m = \frac{p}{2g}$. Die Galilei'schen Fallgesetze liefern aber $v^2 = 2gh$. Also die lebendige Kraft $f = ph = mv^2$. PAPIN und besonders JOH. BERNOULLI in seinem Briefwechsel mit LEIBNITZ wandten Vieles gegen diese Auffassungsweise ein, bis sich endlich BERNOULLI zu ihr bekehrte. (Virorum celebb. G. G. LEIBNITZII et JOH. BERNOULLII, Commercium philosophicum et mathematicum. Lausannae et Genevae. 1754. 4. Tom. I. p. 62 bis 346 an vielen Stellen.) LEIBNITZ gab bei dieser Gelegenheit eine zweite Herleitung (p. 122), die jedoch im Wesentlichen auf eiu Sophisma hinauskommt. Der Streit, der hierdurch zwischen den Cartesianern und den Newtonianern einerseits und den Leibnitzianern anderseits angeregt wurde, dauerte, bis D'ALEMBERT (vgl. DIDEROT, Encyclopédie. Tome VII. Paris 1757. Fol. p. 113. 114) hervorhob, dass Alles von der Begriffsbestimmuug abhängt und der Ausdruck mv sich eben so gut mit den Grundsätzen der Mechanik, als mv^2 verträgt.

Die Erhaltung der Kraft schwebte schon LEIBNITZ vor, wenu er sagt (Acta erudit. 1695. p. 152. Opera Ed. Dutens T. III. p. 320): nempe ut omnis mutatio fiat per gradus et omnis actio sit cum reactione et nova vis uon prodeat sine detrimento prioris adeoque semper abripiens retardetur ab abrepto nec plus minusve potentiae in effectu quam in causa contineatur. (Vgl. auch Commercium T. I. p. 381.) JOH. BERNOULLI (Opera T. III. pag. 243) hatte später den ersten Gedanken eines Umsatzes der sonst als merkliche Bewegung thätigeu lebendigen Kraft in Molecularwirkung, indem er den Satz aufstellte, dass derjenige Theil lebendiger Kraft, der bei dem Stosse nicht vollkommen elastischer Körper verloren geht, durch die Zusammendrückung aufgezehrt wird. Nachdem EULER (Histoire de l'acad. de Berlin. 1745. Berlin 1746. 4. p. 26 fgg.) einen nicht ganz glücklichen Versuch gemacht, die Leibnitz'scheu Kraftbegriffe mit den Erscheinungen der Trägheit in Beziehung zu bringen, unterschied ADAMI (a. a. O. p. 4) die wirksame Kraft als die, der nur die Trägheit Widerstand leistet und die unwirksame als die, welche keine (sichtliche) Bewegung hervorruft. Erzeugt also eine todte Kraft einen

keine Reibung, kein unelastischer Stoss, keine bleibende oder mit Wärmeänderungen verbundene Zusammendrückung oder Raumausdehnung, endlich keine Gasabsorption und kein die thätigen Kräfte

---

Erfolg, der nicht bloss die Trägheit überwindet, so ist sie mit der Summe der wirksamen und der unwirksamen Kraft thätig. Da die letztere keine Bewegung herbeiführt, so lässt sich auf ihre Grösse nur mittelbar zurückschliessen. Sie pflanzt sich auch unverändert fort, während die wirksame Kraft so viel verliert, als die Bewegung der Zwischenkörper aufzehrt (a. a. O. p. 5).

Die weitere Ausbildung der Lehre von den lebendigen Kräften führte zu der unter (26) gegebenen Gleichung, die unter Anderem aussagt, dass die Reibung der Maschinen eine entsprechende Menge lebendiger Kraft unwirksam macht. Diese Aequivalentanschauung wurde schon von LAGRANGE z. B. angedeutet. NAVIER (Dessen Ausgabe von BÉLIDOR, Architecture hydraulique. Tome I. Paris. 1819. 4. p. XI.) spricht klar aus, dass die Kraftsumme bei dem unelastischen Stosse dieselbe bleibe und der scheinbare Verlust nur in innere Kräfte verwandelt wird. FRESNEL behauptete nach BOHN (Phil. Magaz. Vol. XXVIII. 1864. p. 311—314), dass die nicht mehr als äussere lebendige Kraft wahrnehmbare Thätigkeit die Form von Molecularkräften annimmt. J. R. MAYER legte den Grund zu den gegenwärtigen Vorstellungen über den Ersatz desjenigen Theiles der lebendigen Kraft, der sich nicht als mechanische Leistung verräth, durch Wärmewirkungen. HELMHOLTZ dehnte endlich die Beziehungen von lebendigen Kräften und Spannkräften auf die gesammten physikalischen Wirkungen aus und gab die entsprechenden mathematischen Herleitungen der Einzelbeziehungen.

Der Grundsatz der Erhaltung der lebendigen Kraft kann nur da gelten, wo sich die Geschwindigkeiten stetig ändern und blosse Functionen des Ortes bilden, also nicht noch ausserdem von einem besonderen mit der Zeit wechselnden Gesetze abhängen. Nennt man Σmv^2 die Summe der lebendigen Kräfte der Körper eines Systemes, wo jedes m einer einzelnen Masse und jedes v der Geschwindigkeit derselben entspricht, und $\Sigma m\,(Xdx + Ydy + Zdz)$ die Summe der Producte einer jeden Masse mit ihrem virtuellen Momente (§. 16), so lässt sich aus dem später zu erwähnenden d'Alembert-schen Grundsatze oder selbst einer blossen Betrachtung der Natur der beschleunigenden Kräfte die Gleichung herleiten:

$$\frac{1}{2}\,d\,.\,\Sigma mv^2 = \Sigma m\,(Xdx + Ydy + Zdz) \qquad (20)$$

(Siehe EULER, Opera postuma. T. II. p. 494. LAGRANGE, Mécanique. T. I. 1811. p. 290. FRANCOEUR a. a. O. p. 230 und 281. POISSON, Mécanique. T. II. 1833. p. 475. DUHAMEL, Mechanik. Bd. I. 1853. S. 257. KUNZEK, Studien aus der höheren Physik. Wien 1856. 8. S. 217. 218.) Ist $Xdx + Ydy + Zdz$ das vollständige Differential einer Function, die eine solche von x, y, z der Voraussetzung nach sein muss und die man daher als f (x, y, z) ausdrücken kann, so gibt die Integration:

$$\Sigma mv^2 = C + 2f\,(x,\,y,\,z) \qquad (21)$$

wo C die Integrationsconstante bedeutet.

Bezeichnet $v_{,}$ die Geschwindigkeit in dem Orte x', y', z' und $v_{,,}$ die an der Stelle x'', y'', z'', so hat man daher:

$$\Sigma mv_{,}^2 - \Sigma mv_{,,}^2 = 2f\,(x',\,y',\,z') - 2f\,(x'',\,y'',\,z'') \qquad (22)$$

Diese Gleichung lehrt zunächst, dass der Unterschied der lebendigen Kräfte an zwei Orten nur von den Endpunkten des Weges, nicht aber von den Zwischenwegen

ändernder chemischer Umsatz des wirksamen Materials zum Vorschein kommt. Die Hydrodynamik von DAN. BERNOULLI bildet

---

abhängt, dass es also gleichgültig ist, ob die Bewegung in einer geraden oder in einer beliebigen krummen Linie dahinging. Wäre dieses nicht der Fall, so müsste die eine Bahn mehr lebendige Kraft als die andere erzeugen. Man würde daher dann eine gewisse Arbeitsgrösse aus Nichts hervorbringen. Die Geschwindigkeiten und die Richtungen der Bewegungen können aber mit den gegenseitigen Verbindungen der einzelnen Körper und den von den Nebenbedingungen vorgeschriebenen Wegen wechseln. Vergleicht man (22) mit (20), so sieht man, dass der einer bestimmten Zeit entsprechende Zuwachs an lebendiger Kraft dem Doppelten der Wirkungsgrössen der Kräfte innerhalb dieser Zeitdauer gleicht.

Kehrt der Körper zu dem gleichen Orte zurück, so dass x', y', z' in x, y, z übergeht, so hat man aus (22):

$$\Sigma m v_{,}^2 = \Sigma m v_{,,}^2 \tag{23}$$

oder die lebendige Kraftsumme nimmt eben so oft ihren früheren Werth an, als alle Punkte des Systemes die entsprechende Stelle von Neuem erreichen. Die Gleichung (22) lehrt ferner, dass sich der Unterschied der lebendigen Kräfte in demselben Maasse, wie die von dem Orte abhängende Function der beschleunigenden Kräfte ändert. Fehlen diese gänzlich, so dass f (x, y, z) = 0 wird, so gibt (21):

$$\Sigma m v^2 = C \tag{24}$$

d. h. die Summe der lebendigen Kräfte eines bewegten Systemes, auf das keine Beschleunigungen wirken, behält immer denselben Werth. Die Gleichung (20) liefert aber für diesen Fall:

$$d\Sigma m v^2 = 0 \tag{25}$$

also die Gleichung eines Maximums oder eines Minimums. Da nun gleichzeitig Xdx + Ydy + Zdz = 0 ist und dieses den Ausdruck des Gleichgewichts bildet (§. 20), so folgt, dass der grösste oder der kleinste Werth der Summe der lebendigen Kräfte des Systems derjenigen Lage entspricht, in der es sich in labilem oder in stabilem Gleichgewichte befände, wenn die Geschwindigkeiten aller seiner Punkte Null wären.

Nennt man das Product der Masse und des virtuellen Momentes (§. 16) eines bewegenden Maschinentheiles Pdp und den gleichen Werth des Widerstandes Qdq, so kann man m (Xdx + Ydy + Zdz) = ΣPdp — ΣQdq setzen. Daher auch

$$\frac{1}{2}\left[\Sigma m v_{,}^2 - \Sigma m v_{,,}^2\right] = \int \Sigma P dp - \int \Sigma Q dq \tag{26}$$

Der Unterschied an lebendigen Kräften von zwei Zeiträumen gleicht also dem Unterschiede der bewegenden Arbeit und der Gesammtsumme der Widerstände. Das Letztere gilt für die ganze lebendige Kraft, wenn die Maschine am Anfange der betrachteten Zeit zu gehen begann, also $v_{,,} = 0$ für t = 0 war.

Der Grundsatz der Erhaltung der lebendigen Kraft setzt voraus, dass Xdx + Ydy + Zdz ein exactes Differential sei. Dieses findet immer statt, wenn die Kräfte stetige Functionen der Entfernungen bilden, nicht aber wenn sie zugleich von der Zeit besonders abhängen. Die Bedingung wird z. B. für die Erscheinungen der Schwere und anderer im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernungen wirkenden Kräfte, also auch der magnetischen und elektrischen Anziehungen und eben so für den elastischen Stoss, bei dem die Theilchen zuletzt genau dieselbe Stellung, wie im Anfange wiedergewinnen, erfüllt. Greift dagegen ein Nebenumstand ein, der einen Theil lebendiger Kraft auf-

trotz dieser Einschränkungen das Hauptwerk des vorigen Jahrhunderts [1]), weil es eine Menge praktischer Aufgaben mit Hilfe einer, wie LAGRANGE [2]) sich ausdrückt, eben so eleganten, als in ihren Ergebnissen einfachen mathematischen Analyse behandelt und eine Reihe theoretischer Sätze durch Versuche prüft. BERNOULLI [3]) bemerkt im Anfange, wo er die Ergebnisse seiner Forschungen übersichtlich darstellt, dass der hydraulisch-statische Theil seiner Arbeit, wie er ihn nennt, oder die Untersuchung der Geschwindigkeit und des durch Seitenmanometer bestimmbaren Wanddruckes strömender Flüssigkeiten die physiologische Kenntniss der Saftbewegung unsers Körpers und mancher anderer Lebenswirkungen fördern werde. Er kommt aber in dem Werke selbst nicht näher darauf zurück.

§. 128. BERNOULLI [4]) gibt ausdrücklich an, dass er die durch die Reibung bedingte langsamere Strömung in der Nähe der festen Wände der Einfachheit wegen vernachlässige und formt dann den Grundsatz der Erhaltung der lebendigen Kraft, die dem Producte

---

zehrt, z. B. eine plözliche Aenderung der Geschwindigkeit durch einen Widerstand oder eine Explosion, die Reibung oder die auf einen unelastischen Stoss zurückführbare Zusammendrückung einer Flüssigkeit, so müssen die Aequivalente dieser Nebenbedingungen in Rechnung gezogen werden. Der Grundsatz der Erhaltung der lebendigen Kraft geht dann in den der Erhaltung der Kraft über. HELMHOLTZ (Ueber die Erhaltung der Kraft. Berlin 1847. 8. und Die Fortschritte der Physik im Jahre 1847. Berlin 1850. 8. S. 233—245), der dieses letztere Princip am Schärfsten mathematisch durchführte, zog auch desshalb die Spannkräfte ausser den lebendigen Kräften in Betracht. Da die Menge der gewonnenen lebendigen Kräfte eben so gross ist, als die während dieser Zeit in lebendige Kräfte übergegangenen Spannkräfte, so bleibt die Summe der in dem Systeme vorhandenen lebendigen Kräfte und Spannkräfte unverändert. Man kann dieses auch so ausdrücken, dass man sagt, die freien und die gebundenen Kräfte bilden immer zusammen eine und dieselbe der gegebenen Kraftsumme entsprechende Grösse.

[1]) D. BERNOULLI hatte diesem Werke, an dem er 10 Jahre arbeitete, eine Reihe einzelner hydrodynamischer Arbeiten vorausgeschickt. Siehe Commentarii acad. Petrop. Tom. II. 1727. Petropoli 1729. 4. p. 111—124. Tom. IV. 1729. Petropoli 1733. p. 194—256. Tom. VIII. 1736. Petropoli 1741. p. 112—122.

[2]) LAGRANGE, Mécanique. Tome II. 1815. p. 282. Dieses Urtheil stimmt auch mit dem der übrigen Mathematiker. Nur D'ALEMBERT (Opuscules. Tome VIII. Paris 1780. 4. p. 180. 181) wirft BERNOULLI vor, dass er die Flüssigkeitstheilchen bald als elastisch und bald als weich ansehe.

[3]) DAN. BERNOULLI, Hydrodynamica. p. 10.

[4]) BERNOULLI p. 13.

der bewegten Flüssigkeitsmasse in die Druckhöhe entspricht[1]), in den des wirklichen Niederganges und des potentiellen Aufsteigens der Flüssigkeit um[2]). Dieses führt zunächst zu dem schon §. 119. erwähnten Schlusse, dass das Toricelli'sche Theorem nur dann gilt, wenn die Ausflussöffnung des Gefässes unendlich klein im Verhältniss zum Querschnitt des Behälters ist. Die Form des letzteren übt keinen merklichen Einfluss auf die Geschwindigkeit aus[3]).

§. 129. Die Versuche von 'sGRAVESANDE[4]) hatten ergeben, dass sich ein mit Wasser gefüllter senkrechter Cylinder rascher entleert, wenn seine Bodenöffnung ein Ansatzrohr trägt und noch schneller, wenn sich dieses nach der Ausflussöffnung hin erweitert. Die von BERNOULLI für diesen Fall erhaltene Formel bleibt sehr verwickelt, wenn man keine unendlich kleine Ausflussmündung voraussetzt. Legt man aber diese Annahme zum Grunde, so hat das Rohr keinen Einfluss auf die Schnelligkeit mehr. Die sie erzeugende Druckhöhe wird nur um die Länge des Ansatzrohres vergrössert, wenn es senkrecht steht. Das später zu erwähnende Bernoulli-Venturische Theorem[5]) ergibt sich schon aus den Formeln, welche für Seitenöffnungen des Durchflussrohres gelten. Es kann daher vorkommen, dass hier kein Wasser aus-, sondern Luft eintritt. Hat man einen kleinen Luftraum an dem Ausflussrohre und verengert die Ausflussöffnung, so erhält man im ersten Augenblick einen weit höheren Strahl als der hydrostatischen Druckhöhe entspricht[6]). Zerstreut sich der Strahl, so gewinnen die Theilchen eine gewisse wagerechte Geschwindigkeit und verlieren an senkrechter. Die senkrechte Bewegung fällt daher kleiner aus[7]).

---

[1]) Nennt man m die Masse der Flüssigkeit, v die Geschwindigkeit und h die Druckhöhe, so hat man zunächst mv^2 als den Werth der lebenden Kraft. Dieser geht aber in 2gmh über, weil $v = \sqrt{2gh}$ nach dem Toricelli'schen Satze ist.

[2]) p. 11. Das potentielle Aufsteigen (adscensus potentialis) entspricht der Geschwindigkeitshöhe, also $= h = \frac{v^2}{2g}$ oder auch $\frac{v^2}{2}$, wenn man die Constante g weglassen kann.

[3]) p. 35. Weitere Ausführungen als BERNOULLI gibt J. ADAMI, Specimen hydrodynamicum. p. 53—59.

[4]) p. 44.

[5]) Die Bemerkung von D'ALEMBERT (Opuscules mathématiques. Tome I. p. 161), dass hierbei der Druck der äusseren Luft die Saugkraft bewirke, ist richtig, versteht sich aber nach dem Texte von BERNOULLI p. 47 ohne Weiteres.

[6]) p. 51. 52.

[7]) p. 177.

§. 130. Die Geschwindigkeit des Ausflusses steigt natürlich von dem ersten Augenblicke bis zur Zeit ihres grössten Werthes, sie mag später beständig bleiben oder wechseln. Kann man die Ausflussöffnung eines senkrechten Cylinders oder vielmehr den kleinsten Querschnitt des zusammengezogenen Theiles des Ausflussstrahles als unendlich klein ansehen, so erreicht die Ausflussgeschwindigkeit ihren grössten Werth in einer unendlich kurzen Zeit[1]). Beträgt selbst die Weite der Ausflussöffnung $^1/_{100}$ von der des Gefässes und gleicht die Höhe der Flüssigkeit einem halben Fusse, so hat man doch schon der Theorie nach die grösste dem Geschwindigkeitsmaximum entsprechende Weite des Strahles nach dem Abflusse von fünf Tropfen[2]).

§. 131. Trägt der Behälter ein kegelförmig convergirendes Ansatzrohr und denkt man sich die Ausflussöffnung unendlich klein, so fällt die in der Zeiteinheit ausströmende Flüssigkeitsmenge geringer aus, als man ohne Berücksichtigung der Verengerung des Strahles oder der sogenannten Venencontraction finden würde. Diese Zusammenziehung bleibt aber in der Regel in längeren Röhren kleiner. Ein divergirendes Rohr liefert das Entgegengesetzte, so dass eine grössere Flüssigkeitsmenge in der Zeiteinheit hervortritt[3]). Führt der Behälter eine oder mehrere mit Durchflussöffnungen versehene Blendungen, so nimmt die Ausflussgeschwindigkeit an der Bodenmündung um so mehr ab, je kleiner die Oeffnungen der Scheidewände sind[4]).

§. 132. Befindet sich eine Flüssigkeit in einer zweischenkeligen Röhre, also z. B. in einem Manometer, so sind grosse Schwingungen derselben nicht isochron, wenn nicht der Querschnitt überall gleich bleibt und isochron, wenn diese Bedingung erfüllt wird. Die kleinsten Schwingungen dagegen bieten den Isochronismus selbst bei wechselnder Weite der einzelnen Röhrenstellen dar[5]). (§. 26.)

§. 133. Die in der Mechanik gebräuchliche Annahme, dass die Nutzwirkung oder das mechanische Moment, nämlich das

---

[1]) p. 68.

[2]) p. 71.

[3]) p. 71. 72.

[4]) p. 145.

[5]) p. 118—120. Die Formel, die BERNOULLI für die Dauer der Schwingungen bei überall gleicher Röhrenweite findet (p. 114. 115) ist schon Anmerkung zu §. 26. S. 20 angeführt.

Product des überwundenen Widerstandes in die senkrechte Hubhöhe die Arbeitsleistung messe, dass also der Zwischenweg und die für ihn verwendete Zeit gleichgültig seien, bildet eine einfache Folge des Grundsatzes der Erhaltung der lebendigen Kraft. Sie rührt auch von LEIBNITZ und besonders von JOH. und DANIEL BERNOULLI, welche dieses Princip erweiterten, her und kann schon aus dem Begriffe der lebendigen Kraft entwickelt werden (S. 88), wenn sich diese auf einen Fall bezieht, den man mit den Schwerewirkungen oder mit Einflüssen von Centralkräften überhaupt zu vergleichen berechtigt ist, sonst dagegen nicht. Da aber die Natur der Muskelleistungen eine solche Beziehung nicht gestattet, so führt auch die blosse Ausmessung derselben mittelst des Werthes der Nutzwirkung zu irrigen Ergebnissen. Obgleich man sich dieses bis auf unsere Tage nicht vollkommen klar machte, so war doch schon DAN. BERNOULLI der Erste, der wie später LAMBERT, COULOMB, NAVIER, POISSON und PONCELET hervorhob, dass die Beurtheilung der physiologischen Arbeit nach dem Maasstabe des mechanischen Momentes keiner genügenden Auffassung entspricht[1]). Er nennt absolute Wirkung

[1]) Lässt sich die in Betracht gezogene lebendige Kraft mit der eines fallenden Körpers, der von keinen anderen beschleunigenden Kräften als der Schwere getrieben wird, vergleichen (§. 127. Anmerk. 7), so hat man nach (20) $mv^2 = 2mgh$ oder wenn man $2mg = P$ setzt, $mv^2 = Ph$. (Den Beweis des Satzes versuchte schon CARTESIUS, Epistolae. Amstelodami 1682. 4. T. I. p. 241—248.) Dieser Vergleich und die gewöhnliche Anwendung des Grundsatzes der Erhaltung der lebendigen Kraft überhaupt sind aber nur dann möglich, wenn die Geschwindigkeiten nur von den Orten der bewegten Körper, nicht aber noch sonst von der Zeit abhängen, also die beschleunigenden Kräfte nicht nach einem von der Zeit besonders bestimmten Gesetze oder mit diesen Geschwindigkeiten wechseln, wenn also die seit dem Anfange verflossenen Zeiten nicht bloss implicite als Bestimmungsglieder der Orte und der von diesen abhängigen Beschleunigungen, sondern auch explicite in Betracht kommen (§. 127. Anmerk. 7). Die Massenveränderung, die der Muskel während der Zusammenziehung erleidet, bestimmt die Stärke des Verkürzungsvermögens von einem Augenblicke zum andern. Die lebendige Kraft bildet daher keine blosse Function des Ortes oder der Grösse der Längenabnahme, sondern auch der von der Arbeitsgrösse und der Arbeitsdauer abhängigen chemischen Beschaffenheit der Muskelmasse, deren Einfluss wir als Ermüdung zu bezeichnen pflegen. Die Nutzwirkung kann daher auch kein Maass der Muskelthätigkeit liefern. Die Auswerthung derselben ist streng genommen nur für unendlich kleine Zeiten möglich, in denen die Ermüdung die Leistungsgrösse nicht stört. Man hätte den Ausdruck $pdhdt$, wenn p den überwundenen Widerstand, h die Hubhöhe und t die Zeit bezeichnet. Da man das Gesetz der Beziehungen von h und t nicht kennt oder die Function von $h = f(p, t)$ nicht anzugeben vermag, so lässt sich auch jener Ausdruck nicht integriren. Es bleibt unter diesen Verhältnissen nichts übrig, als pht oder eine gewisse Summe von Einheiten, von Grammen-Centimeter-Secunden zur Auswerthung zu gebrauchen, wobei p den

(Potentia absoluta), was wir heute mit dem Namen der Nutzwirkung bezeichnen und erklärt sie als das Product der Widerstandsbewältigung (Potentia movens), der Geschwindigkeit und der Wirkungsdauer[1]). Dieses sagt aber nur aus, dass sie durch das Product des Gewichts in die Hubhöhe gemessen wird[2]). BERNOULLI bemerkt bei dieser Gelegenheit, dass eine solche physikalische Bestimmung den physiologischen Verhältnissen nicht genügt, weil dieselbe absolute Wirkung herauskommen müsste, man möge die Last oder die Geschwindigkeit verdoppeln, diese aber nicht mehr in den Kraftgrenzen des Menschen liege, so wie sie eine gewisse Grösse überschreitet.

§. 134. Der Versuch die Muskelleistungen eines Menschen mittlerer Grösse zu schätzen, führt BERNOULLI[3]) zu der für einen solchen Denker bemerkenswerthen Voraussetzung, dass der Arbeiter auf einer unter 30° geneigten Ebene emporsteige[4]). Versetzte man einen Menschen von gleicher Leistungsgrösse an eine Wassermaschine, so würde seine Secundenarbeit der senkrechten Erhebung eines Cubikfusses Wassers auf die Höhe eines Fusses entsprechen.

überwundenen Widerstand in Grm. und h die Hubhöhe in Centimetern bezeichnet, die während der ganzen Arbeitszeit t des Muskels geliefert worden. Der empirische Ausdruck pht schliesst dann natürlich auch den Einfluss der Ermüdung in sich. Dass die gewöhnliche Auffassung zu irrigen Ergebnissen führe, wurde schon in dem Versuche einer physiologischen Pathologie der Nerven. Abth. 1. 1864. S. 177—208 nachgewiesen.

Denkende Köpfe, wie LAMBERT (Mém. de l'Acad. de Berlin 1776. Berlin 1779. 4. p. 56), COULOMB (Mém. de l'Institut. Tome II. Paris. Au VII. p. 382), NAVIER (Bélidor, Architecture hydraulique. Nouvelle Édition. Tome I. Paris 1819. 4. p. 383. 384. 394), POISSON (Mécanique. Tome II. Paris 1833. 8. p. 759) und PONCELET (a. a. O. Bd. II. S. 176) haben übrigens längst an der Auswerthung der Muskelkräfte durch die blosse Nutzwirkung Anstoss genommen. NAVIER, von dem der Ausdruck Kilogrammmeter herrührt, hob selbst hervor, dass man die Leistung eines Menschen nach dem Producte der Widerstände, der Hubhöhe und der Arbeitszeit beurtheilen müsse. Lässt sich aber nicht der Grundsatz der Erhaltung der lebendigen Kraft auf die Muskelthätigkeit ohne Weiteres anwenden, weil die durch die Verkürzung erzeugte chemische Zersetzung den Kraftträger selbst ändert, so kann auch hier von einer einfachen Aequivalenz von Arbeit und Wärme nicht die Rede sein.

[1]) BERNOULLI a. a. O. p. 164.

[2]) Nennt man die Widerstandsbewältigung oder die ihr proportionale Gewichtsgrösse P, die Geschwindigkeit $v = \frac{dx}{dt}$, wo x die Hubhöhe und t die Zeit bezeichnet, so hat man für die absolute Wirkung $Pvdt = Pdx$, also $Px + C$ nach der Integration, wo $C = 0$ wird, wenn $x = 0$ im Anfange ist.

[3]) BERNOULLI p. 181.

[4]) Die grösste Steigung, die belastete Maulthiere überwinden, gleicht ungefähr 29°. Siehe m. Lehrb. d. Physiol. Zweite Aufl. Bd. I. Braunschweig 1847. 8. S. 117.

§. 135. Navier[1]), Poggendorff und Clausius haben schon hervorgehoben, dass Bernoulli[2]) den in neuester Zeit wiederum aufgenommenen Gedanken vertheidigte, die Spannkraft der Gase rühre davon her, dass ihre Theilchen in der lebhaftesten Bewegung fortwährend begriffen sind. Der Barometerdruck gleicht nach Bernoulli nicht dem Gewichte eines Atmosphärencylinders, der die gedrückte Fläche zur Grundfläche und die Höhe der Atmosphäre zur Länge hat, sondern dem Producte der gedrückten Fläche und dem Gesammtgewichte der Atmosphäre getheilt durch die Oberfläche der Erde.

§. 136. Der von Bernoulli[3]) sogenannte hydraulisch-statische Theil der Hydrodynamik beschäftigt sich mit dem Wanddrucke einer durch eine Röhre strömenden Flüssigkeit. Während also sonst der Druck einer zu einer Oeffnung hervortretenden Flüssigkeit aus ihrer Geschwindigkeit berechnet wird, löst man hier die umgekehrte Aufgabe, die Schnelligkeit nach den gemessenen Druckgrössen anzugeben. Ruhte die Flüssigkeit, so würde ihre Wand mit der ganzen Druckhöhe belastet sein. Denkt man sich aber die Bewegung derselben linear (§. 12), so gehen die Flüssigkeitsfäden der Achse des cylindrischen Rohres parallel. Der Geschwindigkeitsdruck trifft also nicht die Wände, so dass diese bloss den Rest zu tragen haben.

§. 137. Lässt man die Nebenwiderstände (also auch die der Adhäsion und der Reibung) unbeachtet, so kommt der Werth der Röhrenlänge in der den Seitendruck oder den Wanddruck bestimmenden Formel nicht vor[4]). Er ist also dann an allen Punkten des Rohres gleich. Man findet ihn, wenn man die Druckhöhe des Flüssigkeitsniveau in dem Behälter über der Ausflussöffnung mit einem Factor vervielfältigt, der aus der Einheit weniger dem Quadrate des Verhältnisses der Ausflussöffnung am Ende der Röhre zur Weite der letzteren besteht. Er wird natürlich Null, wenn diese beiden Grössen übereinstimmen und entspricht der vollen Druckhöhe, so wie man die Grösse der Ausflussöffnung als unendlich klein betrachten darf oder bei gänzlichem Verschlusse derselben. Der Seitendruck kann bei einer conischen Erweiterung des Ansatz-

---

[1]) Navièr (a. a. O. p. 215) macht aufmerksam, dass der Gedanke, es befänden sich die Flüssigkeitstheilchen in fortwährender Bewegung, früher allgemein verbreitet war.

[2]) Bernoulli p. 202. 203.

[3]) p. 258.

[4]) p. 259. 260.

rohres oder bei gewissen Bedingungen der Geschwindigkeit des Durchflusses negativ werden, so dass die Wandungen von der Atmosphäre mit einer bestimmten Ueberschussgrösse gedrückt und Flüssigkeiten aus einem eingefügten Seitenrohre angesogen werden [1]. Dieses unter Bernoulli's Namen in der Wissenschaft gebliebene Theorem wird von ihm in seinen Einzelnheiten durchgeführt und auf manche praktische Verhältnisse z. B. der Kamine und anderer Zugeinrichtungen angewendet. Er bespricht noch die Fälle, in denen das Rohr durchbohrte Blendungen im Innern hat [2] und bestimmt die Geschwindigkeit, mit welcher die Flüssigkeit in einem seitlich eingesetzten Manometer emporgeht [3].

§. 138. Die Untersuchung des Rückstosses oder der Rückbewegung eines Flüssigkeitsbehälters in einer dem Ausflusse entgegengesetzten Richtung führt BERNOULLI [4] zu einem Ergebnisse, das von dem von NEWTON in der ersten Ausgabe seiner Principien aufgestellten abweicht. Er findet, dass die Stärke des Rückstosses dem Gewichte einer cylindrischen Wassersäule gleicht, deren Grundfläche dem Querschnitt der Ausflussöffnung und deren Höhe der doppelten Geschwindigkeitshöhe der ausströmenden Flüssigkeit entspricht. NEWTON hatte die Hälfte dieses Werthes angenommen. BERNOULLI versprach sich übrigens viel von der Anwendung des Rückstosses auf die Schifffahrt [4]. Er bestimmte endlich noch den Druck des ausfliessenden Strahles gegen eine widerstehende Platte als das Gewicht eines Flüssigkeitscylinders, der den Querschnitt des Strahles zur Grundfläche und die doppelte Geschwindigkeitshöhe zur Höhe hat [5]. Seine Abhandlung über das Gleichgewicht der Flüssigkeiten [6], schwimmender Körper [7] und seine späteren Arbeiten über den Stoss und den Widerstand der Flüssigkeiten [8] bilden Ergänzungen zu seinen hydrodynamischen Studien.

---

[1]) BERNOULLI p. 264. 265. Vgl. auch Comment. Acad. Petrop. Tome IV. Petropoli 1729. 4. p. 199.

[2]) p. 269. 270.

[3]) p. 271.

[4]) p. 293 fgg.

[5]) p. 290.

[6]) Comment. Petrop. Tome X. 1738. Petropoli 1747. 4. p. 147—163.

[7]) DAN. BERNOULLI, Commentarii Acad. Petrop. Tome X. ad annum 1738. Petropoli 1747. 4. p. 147—163. Tome XI. 1739. Petropoli 1740. p. 100—115.

[8]) Comment. Petrop. Tome III. 1728. Petropoli 1732. 4. p. 214—229. Tome IV. 1729. Petropoli 1733. p. 136—143. Tome V. 1731. Petropoli 1738. p. 106—125.

§. 139. Wir werden sehen, dass alle diese Sätze von BERNOULLI bei physiologischen Untersuchungen in Betracht kommen. Man muss aber dabei prüfen, ob man den Grundsatz der lebendigen Kraft für die vorliegenden Fragen ohne Weiteres gebrauchen darf. Dieses bewog auch zunächst MACLAURIN, die Ergebnisse auf einem anderen, obgleich nach LAGRANGE's Ansicht[1]) erkünstelten Wege herzuleiten.

Die Untersuchungen, die JACOB BERNOULLI[2]) über den Schwingungsmittelpunkt eines materiellen Pendels anstellte, führten ihn zuerst auf den später auch, wie es scheint, von FONTAINE[3]) gefundenen Grundsatz, den man unter dem Namen des d'Alembert'schen Princips kennt. EULER und HERMANN hatten ebenfalls schon dynamische Fragen auf statische zurückgeführt, ehe D'ALEMBERT die Fruchtbarkeit dieses Verfahrens erkannte, und mit Erfolg auf die Präcession der Aequinoctien und die Dynamik überhaupt anwandte[4]). Die Uebertragung des Grundsatzes auf hydrodynamische Fragen führte ihn zunächst zur Ausarbeitung zweier Werke, denen später eine grosse Reihe einzelner Abhandlungen nachfolgte[5]).

---

[1]) LAGRANGE, Mécanique. Tome II. 1815. p. 282. 283.

[2]) LAGRANGE, Tome I. 1811. p. 236. 237.

[3]) J. J. MONTUCLA, Histoire des Mathématiques. Nouvelle Édition. Tome III. Paris 1802. 4. p. 627.

[4]) Wir wollen zunächst diesen Grundsatz so betrachten, wie ihn D'ALEMBERT selbst vortrug. Bewegt man mehrere wechselseitig verbundene Körper, so wird diese gegenseitige Beziehung andere Bewegungen hervorrufen, als wenn die Körper völlig frei wären. Man kann die erzeugten Bewegungen in zwei zerlegen, in die, welche wirklich auftreten und in die, welche durch die Natur der Verbindungen zerstört werden. Die letzteren müssen aber natürlich so beschaffen sein, dass sich die Körper im Gleichgewichte befinden würden, wenn jene allein thätig wären. Man pflegt jetzt das Princip schärfer dahin auszudrücken, dass sich die Kräfte, die auf ein System beliebig verbundener Punkte wirken, mit Hülfe dieser Verbindungen in jedem Augenblicke im Gleichgewichte mit denjenigen Kräften stehen, welche gleich und entgegengesetzt denen sind, die jedem als frei gedachten Punkte dieselbe Bewegung ertheilen würden, die er wirklich vollführt. Die schwerer angreifbaren Fragen der Dynamik werden auf diese Weise auf Gleichungen der Statik zurückgeführt, so dass man auch den Grundsatz der virtuellen Geschwindigkeiten (§. 16) anwenden kann. Dieser schliesst daher in letzter Instanz alle anderen sogenannten Grundsätze der Statik und der Dynamik in sich.

[5]) Die ersten beiden Hauptwerke von D'ALEMBERT sind: Traité de l'équilibre et des mouvements des fluides. Paris 1744. 4. und Essai sur la résistance des fluides. Die späteren Abhandlungen finden sich in seinen Opuscules mathématiques und zwar: Recherches sur les oscillations d'un corps quelconque qui flotte sur un fluide. Tome I. p. 104—136. Remarques sur les lois du mouvement des fluides. Ebendas. p. 137—168. Sur l'équilibre des fluides. Tome V. 1768. p. 1—40. Nouvelles Réflexions sur les lois

Die Bewegung der Flüssigkeiten wurde hier in partiellen Differentialgleichungen ausgedrückt. So sehr auch diese Bemühungen den vielleicht nur etwas zu selbstgefälligen Meister in der mathematischen Analyse verrathen, so haben sie doch nur noch grösstentheils einen geschichtlichen Werth. D'ALEMBERT[1]) betont es schon nach den allgemeinsten von ihm aufgestellten Formeln, dass sich die Aufgabe, die Bewegung der Flüssigkeiten in einem Gefässe zu bestimmen, in den wenigsten Fällen streng mathematisch werde lösen lassen. Er[2]) erklärt ferner, dass er nicht einsehe, wie man den Widerstand der Flüssigkeiten auf eine genügende Weise theoretisch erklären könne, da befriedigende Vorstellungen zu dem Schluss führen müssten, dass er in manchen Fällen Null sei. Der Clairaut-sche Satz der Niveauflächen (§. 20) führte zu einer Discussion zwischen D'ALEMBERT und LAGRANGE[3]), nach der jener die seine früheren Ansichten beschränkende Behauptung festhielt[4]), dass es auch einen Gleichgewichtszustand ohne Schichten von derselben Dichtigkeit geben kann, wenn die Kräfte, die auf die Flüssigkeit wirken, mit der Verschiedenheit der Stellen wechseln.

§. 140. DANIEL BERNOULLI hatte zuerst die Annahme des Parallelismus der Schichten (§. 12.) aufgestellt. Man denkt sich hiernach, dass eine nachfolgende Lage einer bewegten Flüssigkeit den Ort der vorhergehenden genau einnimmt, und jedes Theilchen einer und derselben Schicht die gleiche und parallele Geschwindigkeit besitzt. Alle Schichten bleiben daher einander parallel. Da diese Bedingungen, welche D'ALEMBERT selbst früher ebenfalls benutzt hatte, in der Wirklichkeit gar nicht oder nur unvollkommen erfüllt werden[4]), so gab er[5]) später Herleitungen, die jene Voraus-

---

du mouvement des fluides. Ebendas. p. 41—94. Sur le mouvement d'un fluide dans un tuyau cylindrique. p. 68—76. Sur l'équation qui exprime la loi du mouvement des fluides. Ebendas. p. 95—131. Suite des recherches sur le mouvement des fluides. Ebendas. p. 132—138. Méthode nouvelle rigoureuse et directe pour déterminer les mouvements des fluides dans les vases. Tome VI. 1773. p. 379. 390. Nouvelles recherches sur les lois de l'équilibre des fluides. Tome VIII. 1780. p. 1—35. Nouvelles recherches sur les mouvements des fluides dans les vases. Ebendas. p. 52—230.

[1]) Opuscules. Tome I. p. 145 und Tome V. p. 47 und 61.

[2]) Ebendas. Tome V. p. 138.

[3]) D'ALEMBERT, Opuscules. Tome V. p. 2. Vergl. auch P. TARDY, Sopra alcuni punti della teoria del moto dei liquidi. Firenze 1847. 4. p. 8—11.

[4]) Ebendas. Tome VIII. p. 74—80.

[5]) Ebendas. Tome VI. p. 379—390. Tome VIII. p. 81—105. p. 118—136.

setzung nicht nöthig haben[1]). Er[2]) folgert zugleich, dass die wagerechte und die überhaupt nicht ausschliesslich senkrechte Geschwindigkeit der Flüssigkeitstheilchen in der Nähe der Ausflussöffnung keine bedeutenden Unrichtigkeiten in den allgemeinen Formelausdrücken erzeugt.

§. 141. Die quantitativ und qualitativ riesenhafte Thätigkeit von EULER hat unter Anderem auch zur Erkenntniss der Ausgangsgleichungen der Hydrodynamik geführt. RIEMANN und HANKEL[3]) haben schon bemerkt, dass die gewöhnlich nach LAGRANGE[4]) benannten Formeln von EULER herrühren. Dieser lieferte zuerst 1755 eine Abhandlung über das Gleichgewicht[5]) und zwei über die Bewegung der Flüssigkeiten[6]). Er betrachtete hierbei die Bewegungsverhältnisse nach einem bald zu erwähnenden Verfahren, das wir das erste nennen wollen. Dann erschien eine allgemeine Arbeit über die Grundsätze der Bewegung der Flüssigkeiten und die verschiedenen Möglichkeiten derselben[7]), eine Abhandlung über den Durchgang von Flüssigkeiten durch ruhende[8]) und durch bewegliche Röhren und die dabei stattfindende Reaction[9]) und eine über die Reibung der flüssigen Körper[10]) mit einem Anhange über die Spring-

---

[1]) Dasselbe geschah auch in der Folge von LAGRANGE, der bei dieser Gelegenheit zugibt, dass die Annahme des Parallelismus der Schichten für erste Annäherungsrechnungen benutzt werden könne. Mécanique analytique. Tome II. 1815. p. 330. 331.

[2]) D'ALEMBERT, Opuscules. Tome VIII. p. 96.

[3]) H. HANKEL, Zur allgemeinen Theorie der Bewegung der Flüssigkeiten. Göttingen 1861. 4. S. 3.

[4]) Die Bescheidenheit und die Gerechtigkeitsliebe von LAGRANGE und die gebührende Dankbarkeit gegen EULER, dem er die Grundlage seiner akademischen Carrière verdankte, lassen vermuthen, dass er die Euler'schen Gleichungen als sein Eigenthum betrachtete, weil er sie mittelst seiner besonderen Herleitungsweise gefunden hatte. Es dürfte sich hieraus erklären, wesshalb LAGRANGE in der Mécanique analytique. Tome II. 1815. p. 284 nur die ersten Euler'schen Abhandlungen als bahnbrechend bezeichnet, in seiner früheren Arbeit über die Bewegung der Flüssigkeiten dagegen auch die Abhandlungen der Petersburger Commentarien unter seinen Vorarbeiten nennt. (Mém. de l'Acad. de Berlin. 1781. Berlin 1783. 4. p. 151.)

[5]) EULER, Histoire de l'Acad. de Berlin. 1755. Berlin 1757. 4. p. 217—273.

[6]) EULER, Ebendas. p. 274—315 und p. 316—361.

[7]) EULER, Novi Commentarii Petropolitani. Tome VI. 1756. 1757. Petropoli 1761. 4. p. 271—311.

[8]) EULER, Histoire de l'Acad. de Berlin. 1752. Berlin 1754. 4. p. 111—140. Vgl. auch Ebendas. p. 140—185.

[9]) EULER, Novi Comment. Petrop. Tome VI. p. 312—337.

[10]) EULER, Ebendas. p. 338—378.

brunnen [1]). EULER veröffentlichte hierauf eine fernere Reihe hydrostatischer und hydrodynamischer Aufsätze, die zwar erst 1768 bis 1771 gedruckt wurden, die aber schon z. Th. um das Jahr 1755 entworfen waren, wie wir später sehen werden. Der erste [2]) untersucht das Gleichgewicht. Der zweite [3]), in dem ein anderes Verfahren benutzt wird und in dem die Lagrange'schen hydrodynamischen Gleichungen vorkommen, beschäftigt sich mit den Grundsätzen der Bewegung der Flüssigkeiten. Der dritte [4]) behandelt die lineare Bewegung derselben und der vierte [5]) die Bewegung der Luft in Röhren. Eine Reihe Euler'scher Manuscripte, die erst 1844 aufgefunden wurden, enthält unter Anderem eine Anleitung zur Naturlehre, in welcher die Differentialgleichungen der Hydrostatik und der Hydrodynamik [6]) verhältnissmässig populär entwickelt werden und eine Abhandlung über den Blutlauf in den Schlagadern [7]), auf die wir später zurückkommen. Die schon erwähnten, besonders durch SEGNER angeregten Untersuchungen [8]) über die Reaction der Flüssigkeit ergänzen noch diesen Reichthum von Leistungen.

§. 142. EULER setzt bewegliche und stetig an einander liegende Flüssigkeitstheilchen voraus. Die sie treffenden Drucke wirken senkrecht auf jedes Flächenelement und wachsen mit diesen ihren absoluten Grössen nach. Der Grundsatz der Gleichheit des Druckes (§. 15) folgt dann ohne Weiteres [9]). Das erste Euler'sche Verfahren, die Bewegungsgleichungen tropfbarer und elastischer Flüssigkeiten herzuleiten, besteht darin, die Geschwindigkeiten an einer bestimmten Stelle zu untersuchen und sie als Functionen der Coordinaten eines gegebenen Ortes und der Zeit anzusehen. Die Betrachtung bezieht sich also hier auf eine und dieselbe Stelle, aber auf verschiedene Flüssigkeitstheilchen, die sie zu verschiedenen Zeiten durchsetzen. Das zweite Verfahren dagegen verfolgt ein und dasselbe Theilchen

---

1) EULER, Ebendas. p. 379—388.

2) EULER, Ebendas. Tome XIII. 1768. Petropoli 1769. 4. p. 305—416.

3) EULER, Ebendas. Tome XIV. 1769. P. I. Petropoli 1770. 4. p. 270—386.

4) EULER, Ebendas. Tome XV. 1770. Petropoli 1771. 4. p. 219—360.

5) EULER, Ebendas. Tome XVI. 1771. Petropoli 1722. 4. p. 281—425.

6) L. EULER, Opera postuma mathematica et physica. Petropoli 1862. 4. Tome II. S. 547—559.

7) L. EULER, Ebendas. Tome II. p. 814—823.

8) EULER, Comment. Petrop. Tome VI. 1757. Petropoli 1761. 4. p. 317—337.

9) EULER, Hist. de l'Acad. de Berlin. 1755. Berlin 1757. 4. p. 220 fgg.

noch während seiner Bewegung [1]). Seine augenblickliche Lage bildet daher eine Function der Anfangslage und der indessen verflossenen Zeitgrösse [2]). Man sieht übrigens aus einzelnen Stellen [3]), dass EULER schon die nach diesem zweiten, in mancher Hinsicht vorzüglicheren Verfahren vorgenommenen Rechnungen, die erst 1770 veröffentlicht wurden, 1757 wenigstens zum Theil niedergeschrieben hatte. Weder er [4]) noch LAGRANGE [5]) täuschten sich über die

---

[1]) DIRICHLET (Abhandlungen der Gesellsch. der Wissensch. zu Göttingen. Bd. VIII. 1860. 4. S. 6. 7), der dieses zweite Verfahren LAGRANGE zuschreibt, hebt hervor, dass das erste Euler'sche nur dann ohne Weiteres gilt, wenn sich die äussere Gestalt der Flüssigkeit im Laufe der Bewegung nicht ändert, weil nur dann die Coordinaten des Ortes des betrachteten Punktes unabhängige Variablen im strengsten Sinne des Wortes bilden. Ueber die weitere Umformung des zweiten Euler'schen Verfahrens und die Bewegung eines gleichartigen flüssigen Ellipsoides siehe DIRICHLET a. a. O. S. 8 fgg. und RIEMANN, Abhandl. der Gesellsch. d. Wissensch. zu Göttingen. Bd. IX. Göttingen 1861. 4. S. 3 fgg.

[2]) Jede der nach drei rechtwinkeligen Coordinatenachsen zerlegten Geschwindigkeitscomponenten u, v, w bildet nach dem ersten Verfahren eine Function der Coordinaten x, y, z und der Zeit t. Betrachtet man also t als beständig, so geben die Differentialgleichungen die gleichzeitigen Geschwindigkeiten der verschiedenen Theilchen. Sieht man umgekehrt x, y, z als beständig an und lässt t wechseln, so erhält man die verschiedenen Geschwindigkeiten an demselben Orte, aber zu verschiedenen Zeiten. EULER gibt schon bei dem Gebrauch des ersten Verfahrens die beiden hauptsächlichsten Nebenbestimmungen, die später auch LAGRANGE und LAPLACE in ihre Darstellungen aufnahmen. Er vergleicht nämlich das Volumen eines unendlich kleinen Flüssigkeitsparallelipipeds in einem ersten und in einem späteren unendlich nahen Augenblicke, setzt beide Volumina nach dem Grundsatze der Stetigkeit (§. 12) einander gleich und findet auf diese Art eine durch eine Differentialgleichung ausgedrückte Beziehung zwischen Geschwindigkeit und Dichtigkeit. Die zweite Untersuchungsweise verfolgt die Druckunterschiede, welche auf den einander entgegengesetzten Flächen des Elementarparallelipipeds der Flüssigkeit lasten. Die hierbei erhaltenen Differentialgleichungen geben Beziehungen zwischen den thätigen beschleunigenden Kräften, dem Drucke und der Dichtigkeit. Man hat hierfür fünf Gleichungen nöthig, weil die beschleunigenden Kräfte und die Geschwindigkeiten nach den drei Coordinatenachsen zerlegt werden. Die Betrachtung des Parallelipipeds der Flüssigkeit oder der d'Alembert'sche Grundsatz liefert drei Geschwindigkeitsgleichungen, der Grundsatz der Stetigkeit eine Dichtigkeitsgleichung und die Bedingung der Zusammendrückbarkeit oder Nichtzusammendrückbarkeit eine fünfte Beziehung, die das Verhältniss des Druckes zur Dichte betrifft. Die übersichtlichste Darstellung der Gleichungen des ersten Verfahrens findet sich in den Opera postuma. Tome II. p. 554—557.

[3]) EULER, Histoire de l'Acad. de Berlin. 1755. Berlin 1757. 4. p. 282—284.

[4]) EULER, Novi Comment. Acad. Petrop. Tome XV. p. 302 und 318.

[5]) LAGRANGE, Mém. de l'Acad. de Berlin. 1781. Berlin 1783. 4. p. 162 und Mécanique analytique. Tome II. 1815. p. 303.

praktische Tragweite der hydrodynamischen Grundgleichungen[1]), weil ihre allgemeine Integrabilität die der Analyse zu Gebote stehenden Mittel überschreitet.

§. 143. Die Euler'schen Abhandlungen enthalten noch eine Reihe gelegentlicher Bemerkungen, von denen wir die wichtigsten, auf den lebenden Körper anwendbaren kurz andeuten wollen. Die Betrachtung der Einflüsse, welche die Wärme auf das Gleichgewicht der Gase ausübt, führt schon Euler[2]) zu der bis auf unsere Tage nur zu oft vernachlässigten richtigen Auffassungsweise der durch ein Thermometer angezeigten Wärmeänderungen. Da diese Vorrichtung nur angibt, dass ein Wärmegrad grösser als ein anderer ist, so liefert sie kein Maass der Wärmemenge. Man hätte dagegen einen Maassausdruck derselben, der in geradem Verhältnisse der Spannkraft und in umgekehrtem der Dichtigkeit stünde, wenn die Elasticität eines Gases in gleichem Verhältnisse mit der Wärmemenge zunähme.

§. 144. Was man einen negativen Druck in der Hydraulik nennt (§. 137), ist im Grunde immer noch ein positiver, der nur kleiner als ein zum Ausgangspunkte des Vergleiches genommener Druck, z. B. der der Atmosphäre ausfällt. Ein wahrhaft negativer Druck dagegen zeigt an, dass die Flüssigkeit ihre Stetigkeit aufgibt und sich z. B. in eine Reihe von Tropfen auflöst[3]). Es ist ferner nicht nothwendig, dass die Niveauschichten (§. 20) ungleicher Dichtigkeit nach fortschreitender Ordnung ihrer Eigenschweren unter einander liegen. Sind nur der Druck und die Dichtigkeit der Flüssigkeiten an allen Punkten jeder Schicht die gleichen, so bleibt immer noch labiles Gleichgewicht in dem Gegensatze des stabilen in dem ersteren Falle möglich[4]).

§. 145. Der Unterschied der Begriffe von festen und flüssigen Körpern führt zu der Folgerung, dass es für die vollständige Kennt-

---

[1]) Die Form, unter der sie in den Lehrbüchern (siehe z. B. Francoeur, Mécanique. 1825. p. 514. Poisson, Mécanique. Tome II. 1833. p. 669. Duhamel, Mechanik. Theil II. 1853. S. 223. Kunzek, Studien. 1857. S. 273) überhaupt oder zunächst gegeben werden, entspricht dem ersten Euler'schen Verfahren. Ausführliche Darstellungen des zweiten finden sich ausser bei Euler selbst, bei Lagrange, Mécanique analytique. Tome II. 1815. p. 290. Hankel gibt Ableitungen nach der ersten (a. a. O. S. 4—15) und nach der zweiten Euler'schen Form (S. 16—18) und allgemeine auf die Hydrodynamik ebenfalls anwendbare Transformationen.

[2]) Euler, Novi Comment. Petrop. Tome XIII. p. 347.

[3]) Ebendas. p. 353. 354.

[4]) Ebendas. p. 374. 375.

niss der Bewegung eines festen Körpers genügt, die Ortsveränderung von drei in keiner geraden Linie liegenden Punkten oder einer endlichen Zahl von Punkten zu kennen, die Flüssigkeiten dagegen die Verfolgung der Bewegung eines jeden Elementes nöthig machen. Die Beschleunigung eines festen Körpers lässt sich durch das Differential der Geschwindigkeit in einer bestimmten Richtung in Bezug auf die Zeit ausdrücken. Die eines flüssigen in einer Coordinatenrichtung hängt nicht bloss von dem Differential der Geschwindigkeit in dieser, sondern auch von denen in den beiden anderen Richtungen ab[1]).

§. 146. Ein Gedanke, den EULER[2]) am Ende seiner zweiten späteren Abhandlung ausspricht, erklärt eine Reihe von Ausdrücken, die man in einzelnen nachfolgenden hydrodynamischen Arbeiten angewendet findet[3]). Um nämlich von dem Leichteren zu dem Schwereren fortzuschreiten, kann man zuerst die lineare Bewegung der Flüssigkeiten oder den ideellen Fall betrachten, dass keine ungleiche Geschwindigkeit in den einzelnen Theilen eines Querschnittes auftritt, als entspräche die Durchflussröhre einer blossen Linie. Der nächst schwerere Fall bezöge sich auf die flächenhafte oder ebene Bewegung oder die ideelle Annahme, wie wenn die Flüssigkeit nur zwei Durchmesser besässe und als käme keine Ungleichheit in dem dritten vor. Ein noch anderer Fall entspricht endlich der in der Wirklichkeit auftretenden körperlichen Bewegung. EULER beschäftigte sich nur mit der linearen, D'ALEMBERT, LAGRANGE, BRANDES und einige neuere italienische Hydrauliker[4]) dagegen mit einzelnen Verhältnissen der flächenhaften Bewegung.

§. 147. Die lineare Bewegung setzt voraus, dass die Ortsveränderung der Flüssigkeit in der Richtung der Leitlinie dahingeht und alle Theilchen derselben, die in einem und demselben auf jener Leitlinie senkrechten Querschnitte liegen, diese Geschwindigkeit in dem gleichen Augenblicke besitzen, also der Parallelismus der

---

[1]) EULER, Novi Comment. Petrop. Tome XIV. p. 287. 288.

[2]) Ebendas. p. 385. 386.

[3]) z. B. von BRANDES in GEHLER's physikalischem Wörterbuche. Bd. V. Abth. I. Leipzig 1829. 8. S. 557—566 und in seiner sehr empfehlenswerthen Bearbeitung der hydrodynamischen Abhandlungen von EULER (H. W. BRANDES, Die Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung flüssiger Körper. Leipzig 1806. 8. S. 194 fgg.).

[4]) TARDY a. a. O. p. 5 fgg.

Schichten (§. 12) hergestellt ist. Die Erläuterung dieses Begriffes führt EULER[1]) zu dem Schlusse, dass die Gleichförmigkeit der Bewegung aller in demselben Querschnitte befindlicher Flüssigkeitstheilchen um so mehr stattfinden müsse, je enger das Rohr wird, vorausgesetzt, dass nicht Anschwellungen die Verhältnisse stören. Die Consequenz in der Vernachlässigung der Nebeneinflüsse führte hier den grossen Denker dazu, die Einflüsse der Haarröhrchenwirkung unbeachtet zu lassen.

§. 148. Man kann die lineare Bewegung auf zwei partielle Differentialgleichungen zurückführen. Die erste enthält das Differential des Querschnittes des Rohres in Bezug auf den Ort und das der Geschwindigkeit und der Dichtigkeit in Bezug auf Ort und Zeit; die zweite dagegen die Differentialien des Druckes und der Geschwindigkeit in Betreff der beiden letzteren. Bleibt die Dichtigkeit unverändert, denkt man sich also die Flüssigkeit unzusammendrückbar, so gibt die Integration der ersten Gleichung, dass die Geschwindigkeit in umgekehrtem Verhältnisse zum Querschnitt des Rohres steht. Hängt dagegen die Geschwindigkeit von dem Drucke ab, so stellen sich oft grosse Schwierigkeiten der Bestimmung von diesem und jener entgegen[2]). Verläuft das Rohr nach einer krummen Linie einfacher[3]) oder doppelter[4]) Krümmung, so ergeben die unter Berücksichtigung zweier Dimensionen aufgestellten Differentialgleichungen, dass die Biegung keine Aenderung der Bewegung erzeugt — ein der Erfahrung widersprechendes Ergebniss, das EULER[5]) desshalb noch besonders zu vertheidigen scheint[6]). Dasselbe soll sich für ungleiche Weiten der einzelnen Röhrenstellen wiederholen.

§. 149. Strömt Wasser in einer beliebig gekrümmten Röhre von überall demselben Querschnitte, indem es nur von der Schwere getrieben wird, so ist die Geschwindigkeit eine blosse Function der Zeit. Sie fällt also an allen Stellen des Rohres in demselben Augenblicke gleich aus. Der Druck dagegen hängt nicht bloss von der

---

[1]) EULER, Novi Commentarii. Tome XV. p. 221.

[2]) Ebendas. p. 226.

[3]) Ebendas. p. 234.

[4]) p. 236—242.

[5]) p. 234. 235.

[6]) Es dürfte davon herrühren, dass angenommen wird, $\frac{dx}{ds}$ und $\frac{dy}{ds}$ hingen nur von x ab, wenn x, y die Coordinaten und s den Bogen bezeichnen.

als beständig angenommenen Dichtigkeit und der Druckhöhe, sondern auch von der Krümmung des Rohres und von der Zeit ab [1]. Geht Wasser in einer geraden, beiderseits offenen und beliebig geneigten Röhre auf- oder abwärts, so gleicht die Bewegung der Flüssigkeitssäule der eines festen Körpers, der auf- oder niedersteigt [2]. Die hier gebrauchten Differentialgleichungen lehren zugleich, dass Wasser, das sich in einer zweischenkeligen senkrecht gestellten Röhre befindet, eben so hin und her schwankt, wie ein Pendel von der halben Länge der Wassersäule [3]. Euler findet also dasselbe Ergebniss wie Newton und Joh. und Dan. Bernoulli (§. 26). Ist der eine Schenkel weiter als der andere, so sind zwar die Gesammtschwingungen der Flüssigkeit isochron. Diese verweilt aber nicht dieselbe Zeit über, wie unter der Gleichgewichtsebene [4]. Die Quecksilbersäule eines oben geschlossenen und luftleeren Barometers macht Schwingungen, die mit denen eines einfachen Pendels von der Gesammtlänge jener Säule isochron sind [5].

§. 150. Hat man eine gerade und beliebig gegen den Horizont geneigte Röhre, zu deren unterem Ende das Wasser ausströmt, so tritt die gesammte Flüssigkeitsmasse in derselben Zeit hervor, die ein fester Körper nöthig hätte, um an einer gleich langen und eben so geneigten schiefen Ebene hinabzugleiten [6].

§. 151. Wendet man die allgemeinen Gleichungen auf den Fall an, dass eine Triebkraft Wasser an dem einen Ende einer überall gleich weiten Röhre einführt und dasselbe an dem anderen ausfliesst, so zeigt sich, dass die Bewegung nur dann gleichförmig ausfällt, wenn die im Anfange der Röhre wirkende Druckhöhe der Summe der Höhe der Endöffnung der Röhre über dem Horizont und der hier thätigen Druckhöhe, also der der Atmosphäre gleicht. Ist der Anfangsdruck grösser als jene Summe, so nimmt die Geschwindigkeit des fliessenden Wassers immer mehr zu und in entgegengesetztem Falle ab [7]. Da die Erfahrung diesen Schluss nicht bestätigt, so sucht dieses Euler daraus zu erklären, dass in der Theorie angenommen wird, die gleiche Kraft erzeuge dieselbe Druck-

---

[1] Euler a. a. O. p. 244.
[2] p. 251.
[3] p. 252. 253.
[4] p. 283. 284.
[5] p. 257.
[6] p. 260. 261.
[7] p. 266.

grösse bei allen Geschwindigkeiten. Die von Menschen, Thieren, bewegten Wassern oder dem Winde gelieferten Druckkräfte nehmen mit dem Wachsthum der Geschwindigkeit ab. Das Product von dieser in Kraft oder die Leistung bilde daher erst das richtige Maass[1]). EULER schliesst hieran Betrachtungen über die Arbeitsgrössen von Maschinen, Menschen und Thieren, denen er entsprechende aber willkürlich gewählte Functionsausdrücke zum Grunde legt[2]).

§. 152. EULER[3]) wendet noch seine Formeln auf den Ausfluss einer nicht erneuerten Flüssigkeit aus einem beliebig gestalteten Behälter (unter Voraussetzung des Parallelismus der Schichten), auf einfache oder doppelte Pumpen mit oder ohne Ausflussrohr und mit oder ohne Bewegungshebel[4]) an und untersucht endlich die Fälle, in denen das Wasser durch Röhren strömt, die an den verschiedenen Stellen ihres Verlaufes ungleich warm sind[5]). Er bestimmt dabei die an die Saftrotation der Gewächse erinnernde Strömung innerhalb eines in sich geschlossenen, überall gleich oder auch ungleich weiten Rohres, dessen Wasser ein Maximum der Wärme an einer und ein Minimum an einer andern Stelle darbietet. Ist dann das Rohr mit Wasser vollständig gefüllt, so findet immer eine Bewegung der Flüssigkeit statt. Enthält aber nur ein Theil desselben Wasser, so gibt es eine Gleichgewichtslage, bei der keine Bewegung stattfindet. Soll dieser Fall eintreten, so muss die Ausdehnung des wasserleeren Raumes eine gewisse Grösse überschreiten[6]), die von dem Unterschiede der grössten und der kleinsten Dichtigkeit des Wassers abhängt[7]). Fällt dieser sehr klein aus, so beträgt auch der grösste leere Raum für ein kreisförmiges Rohr eine nur geringe Grösse[8]).

§. 153. Die von dem jüngeren JOH. BERNOULLI herausgegebene hydrodynamische Abhandlung von LAMBERT[9]), von der zwei Bearbeitungen nach dessen Tode gefunden wurden, will den Grundsatz der

---

[1]) EULER a. a. O. p. 268.
[2]) p. 269—273.
[3]) p. 284—294.
[4]) p. 309—332.
[5]) p. 332—360.
[6]) p. 346.
[7]) p. 351.
[8]) Nämlich $\alpha\pi$, wenn α den grössten Dichtigkeitsunterschied bezeichnet.
[9]) LAMBERT, Nouveaux Mémoires de l'Académie de Berlin. 1774. Berlin 1776. 4. p. 299—352.

Gleichheit des Druckes (§. 15) aus den Elasticitätswirkungen der Flüssigkeitstheilchen erklären und behandelt dann einzelne hydrodynamische Aufgaben nach dem Grundsatze der Erhaltung der lebendigen Kraft (§. 127). LAMBERT hebt dabei hervor, dass man hiernach die mittlere Geschwindigkeit aller bewegten Flüssigkeitselemente nicht, wie gewöhnlich, durch das Mittel der einzelnen Geschwindigkeiten ausdrücken darf, sondern aus der Quadratwurzel der Producte der Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit getheilt durch die Summe der Massen bestimmen muss [1]. Er bemerkt ferner, dass der Rückstoss gewissermassen das Umgekehrte des hydrostatischen Paradoxon (§. 32) darstellt, weil auch hier nur die thätige Druckfläche und die Druckhöhe in Betracht kommen, und desshalb kleine Flüssigkeitsmengen grosse Wirkungen erzeugen können [2]. Diese Lambert'sche Arbeit versucht es endlich noch zum ersten Male, die Klebrigkeit und die Reibung in die mathematische Betrachtung der Hydrodynamik einzuführen.

§. 154. LAGRANGE [3]) setzt die unbeschränkte Beweglichkeit der Flüssigkeitstheilchen bei der Herleitung seiner hydrodynamischen Hauptgleichungen ausdrücklich voraus. Er legt ihr seine allgemeinen Bewegungsgleichungen eines beliebigen Körpersystems zu Grunde, führt dabei die Umwandlung in die Variablenwerthe des zweiten Euler'schen Verfahrens (§. 141) auf mehrfache Weise durch und ersetzt sie später [4] durch einfachere Ausdrücke. Es kommt bei der Integration der hydrodynamischen, für tropfbare Flüssigkeiten gültigen Grundgleichungen wesentlich darauf an, ob die Geschwindigkeitscomponenten die theilweisen Differentialquotienten einer und derselben Function, des Geschwindigkeitspotentials, sind oder nicht [5], weil der vollständige Ausdruck derselben nur unter jener

---

[1]) LAMBERT p. 307.

[2]) LAMBERT p. 326.

[3]) LAGRANGE, Mécanique analytique. Tome II. 1815. p. 280—296.

[4]) p. 297—302.

[5]) Unter Potential versteht man in der Anziehungslehre und wenn die Wirkung überhaupt dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ist, den Werth $v = \Sigma \left(\frac{m}{r}\right)$, wo m das Massenelement, also $m = \varrho dxdydz$, wenn ϱ die Dichtigkeit und x, y, z die laufenden Coordinaten, und r die Entfernung von m von jedem anderen in Betracht kommenden Elemente bezeichnet. Die nach drei rechtwinkeligen Achsen zerlegten Wirkungen der Anziehung oder der Abstossung lassen sich als Functionen der theilweisen nach diesen Achsen genommenen Differentiale des Potentials darstellen. Trägt man eine ähnliche Auffassungsweise auf die Schnelligkeitsbeziehungen über, so wird

ersten Bedingung integrabel wird. Ist dieses für einen beliebigen Zeitpunkt der Fall, so kehrt es für alle Zeiten der Bewegung wieder [1]). Dasselbe wiederholt sich für den umgekehrten Fall, der bei gewissen Bedingungen der Anfangsgeschwindigkeit eintreten kann, dagegen fehlt, so wie diese Null ist. Um aber die Möglichkeit der Bewegungen im Falle der Nicht-Integrabilität zu erläutern, wählt LAGRANGE [2]) als Beispiel die mit gleichförmiger Winkelgeschwindigkeit erfolgende Wirbelbewegung einer Flüssigkeit um eine der Coordinaten als feste Achse. Es ist später HELMHOLTZ [3]) gelungen, einen wesentlichen Fortschritt dieses Theiles der Theorie durch die Erkenntniss und die weitere Entwickelung der mathematischen Beziehungen solcher während der fortschreitenden Bewegung auftretenden Wirbelbildungen einzuleiten und eine gewisse Aehnlichkeit zwischen den dann sich ergebenden Ausdrücken der Hydrodynamik und der Ampère'schen Electrodynamik nachzuweisen. Er zeigte, dass die kleinsten Wassertheilchen keine Drehung haben, wenn ein Geschwindigkeitspotential vorhanden ist. Fehlt es dagegen, so ist

---

Geschwindigkeitspotential diejenige Function sein, deren theilweise in Bezug auf drei rechtwinkelige Coordinaten bestimmte Differentiale die diesen Achsen entsprechenden Geschwindigkeiten feststellen. Nennt man eine Gleichgewichts- oder eine Niveaulinie eine jede innerhalb einer Gleichgewichtsfläche (§. 20) gezogene Linie und heisst das Bogenelement derselben ds, so muss sie der Gleichung $\frac{dv}{ds} = 0$, also einem Grössten oder einem Kleinsten entsprechen.

Obgleich die Function, die man mit dem Namen des Potentials belegt, in der Lehre von der Anziehung seit langer Zeit gebraucht wurde, so hat doch jener Name erst seit GREEN und vorzugsweise seit GAUSS' Untersuchungen über den Magnetismus allgemeineren Eingang gefunden. Der Name lässt sich bis auf DANIEL BERNOULLI zurückführen. EULER (Methodus inveniendi lineas curvas. p. 246. 247) zeigte zuerst an, dass BERNOULLI die Function $\int \frac{ds}{R^2}$ die Vis potentialis nennt und sie als die einer gekrümmten elastischen Lamelle zukommende Gesammtkraft ansieht. Sie muss nach ihm einem Minimum für die elastische Curve entsprechen. Hierbei bezeichnet s den Bogen und R den Krümmungshalbmesser des in Betracht gezogenen Punktes der elastischen Linie. Der entsprechende Brief von DAN. BERNOULLI findet sich bei P. H. FUSS, Correspondance mathématique et physique de quelques célèbres géomètres du XVIII. siècle. Tome II. Pétersbourg 1843. 8. p. 507. BERNOULLI gebraucht übrigens auch schon den Ausdruck Vis potentialis in seiner Hydrodynamik (§. 124).

[1]) p. 309.

[2]) p. 510. 511 und Mém. de l'Acad. de Berlin. 1781. Berlin 1783. p. 172.

[3]) HELMHOLTZ, CRELLE's Journal für Mathematik. Bd. LV. 1858. S. 25—55. HANKEL a. a. O. S. 34—50.

wenigstens ein Theil derselben in fortdauernden Wirbelbewegungen begriffen.

§. 155. Die beispielsweisen Anwendungen, die LAGRANGE von den hydrodynamischen Grundgleichungen auf die Bewegung einer tropfbaren Flüssigkeit in einem Gefässe oder einem Canale und auf die Theorie der Wellen macht[1]) und die später in ähnlichen Richtungen verfolgten Bemühungen z. B. von POISSON und RUD. MERIAN[2]) können deutlich lehren, welche ausserordentliche Schwierigkeiten sich selbst dann entgegenstellen, wenn man so kleine Durchmesser oder Geschwindigkeiten voraussetzt, dass man die zweiten und die höheren Potenzen derselben vernachlässigen kann. Die Hydrauliker suchen daher auch ihre Lehren rein empirisch vorzutragen oder ihre Formeln auf einfachere und daher oft minder scharfe Weise herzuleiten. Wir wollen jetzt zu den für die Physiologie wichtigsten Sätzen dieser Bewegungslehre der Flüssigkeiten übergehen.

§. 156. Die sogenannte Stetigkeit der Flüssigkeiten (§. 12) führt zu der Voraussetzung, dass jedes körperliche Element derselben dieselbe Zahl von Molecülen einschliesst und daher die gleiche Masse in der Ruhe und während der Bewegung beibehält oder richtiger gesagt, dass der Unterschied nur unendlich kleine Werthe höherer Ordnung gegenüber den in Betracht kommenden beträgt. Diese Annahme und die des Parallelismus der Schichten (§. 12) setzen voraus, dass keine Wärmeunterschiede der einzelnen Abschnitte der Flüssigkeitsmasse, keine inneren oder äusseren Adhäsions- und Reibungseinflüsse, keine Richtungsänderungen und Stösse der Flüssigkeitstheilchen die auf jenen beiden Annahmen gegründeten Ergebnisse ändern. Der Widerstand des Mittels, in das die Flüssigkeit ausströmt, wird ebenfalls ausser Acht gelassen. Wir wollen alle diese Einschränkungen gelten lassen, so lange nicht das Gegentheil ausdrücklich bemerkt wird.

§. 157. Bleibt eine strömende endlich grosse und unzusammendrückbare Flüssigkeit in ihrem stetigen Zusammenhange, so treibt dieselbe Geschwindigkeit ein immer gleiches Volumen in der Zeiteinheit weiter. Da aber der Schnelligkeitswerth die der Zeiteinheit entsprechende Weglänge ist, so folgt, dass sich die Geschwindig-

---

[1]) LAGRANGE p. 317—335.

[2]) RUD. MERIAN, Ueber die Bewegung tropfbarer Flüssigkeiten in Gefässen. Basel 1828. 4. p. 2—53.

keiten umgekehrt wie die mittleren Querschnitte der Flüssigkeit verhalten[1]). Die Mittelgrösse wird mit den wirklichen Querschnitten zusammenfallen, wenn diese überall innerhalb der betrachteten Strecke gleich sind.

§. 158. Der oben erwähnte Satz und die aus dem Principe der Erhaltung der lebendigen Kraft (§. 127) herzuleitende Gleichung liefern zunächst die Formeln, aus denen man den Druck und die Geschwindigkeit an einer beliebigen Stelle einer unzusammendrückbaren Flüssigkeit bestimmt, die zu der Oeffnung eines Behälters mittelst der Schwere und der gegebenen Druckunterschiede an der Oberfläche und der Ausflussöffnung hervortritt. Wendet man sie auf diese letztere selbst an, so sieht man, dass das Toricelli'sche Gesetz nur dann gelten kann, wenn man den mittleren Querschnitt des Flüssigkeitsbehälters als unendlich gross gegenüber der Ausflussöffnung anzusehen vermag[2]) (§. 126). Da es aussagt, dass jedes

---

[1]) Sei l die Länge des Weges, den ein Flüssigkeitstheilchen in der Zeiteinheit z. B. der Secunde durchläuft, so kann man sich statt der möglicher Weise in unendlicher Weise wechselnden Querschnittsgrössen, die auf dieser Bahn liegen, einen mittleren Werth q denken, der als solcher eines geraden Cylinders mit der Achse als Weglänge gedacht dasselbe Volumen geben würde, wie das in der Zeiteinheit fortbewegte Flüssigkeitsvolumen. Man hätte daher ql für diesen und q'l' für einen zweiten Fall. Da aber das Volumen unter den oben erwähnten Bedingungen unverändert bleibt und man auch die Geschwindigkeiten v und v' statt der Längen l und l' setzen darf, so erhält man $q : q' = v' : v$.

[2]) Nennt man ϱ die Masse der Volumeneinheit der Flüssigkeit, also ϱg das Gewicht dieser Volumeneinheit, wenn g die Beschleunigung der Schwerkraft (§. 23), q die obere Querschnittsfläche der Flüssigkeit im Behälter, auf welcher der Druck p lastet, q' einen tieferen Querschnitt derselben, der den Druck p' trägt, endlich q'' die Fläche der Ausflussöffnung mit dem entgegengesetzten Drucke p'' und der Ausflussgeschwindigkeit v, und h den der Schwererichtung parallelen Abstand der beiden in Betracht gezogenen Querschnitte, so hat man allgemein (J. V. Poncelet, Lehrbuch der Anwendung der Mechanik auf Maschinen. Uebersetzt von C. H. Schnuse. Bd. II. Darmstadt 1848. 8. S. 6—8, oder J. Weissbach, Die Experimental-Hydraulik. Freiberg 1855. 8. S. 18—20. Mousson a. a. O. S. 99. 100)

$$v^2 q''^2 \left(\frac{1}{q'^2} - \frac{1}{q^2}\right) = 2gh - \frac{2(p-p')}{\varrho} \qquad (27)$$

Für die Ausflussöffnung wird $q'' = q'$ und für das Ausströmen aus einem in der Atmosphäre befindlichen Behälter in die Atmosphäre $p = p'$. Folglich

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \frac{q''^2}{q^2}}} \qquad (28)$$

Es ergibt sich hieraus, dass dieser Geschwindigkeitswerth imaginär wird, wenn die Ausflussöffnung weiter als der Querschnitt des Behälters oder $q'' > q$ ist. Man ent-

aus dieser hervortretende Flüssigkeitstheilchen dieselbe Geschwindigkeit besitzt, als sei es von der entsprechenden Druckhöhe oder dem der Schwererichtung parallelen für den Augenblick gültigen Abstande des obern Flüssigkeitsspiegels von dem in Betracht gezogenen ausströmenden Theilchen heruntergefallen, so lässt sich auch jede andere Geschwindigkeit auf eine ähnliche Fallhöhe oder die sogenannte Geschwindigkeitshöhe zurückführen. Weicht sie von der thätigen Druckhöhe um eine durch die §. 156 erwähnten Nebenstörungen bedingte Grösse, die man die Widerstandshöhe oder Spannungshöhe nennt, ab, so sagt man, dass die Widerstände einen Theil der Druckhöhe aufgezehrt haben. Indem diese den Fortgang einer späteren Flüssigkeitssäule hemmen, erzeugen sie eine entsprechende Spannung (§. 127, Anmerk. 7) in einer früheren stossenden, die sich als Druck auf die nicht in der Stromrichtung liegenden Wandtheile verräth. Es ergibt sich aber unmittelbar aus dem Toricelli'schen Theoreme, dass sich der Unterschied der Geschwindigkeitshöhe und der ursprünglichen Druckhöhe oder der hydraulischen und der hydrostatischen Druckhöhe, der wirklichen dem in Betracht gezogenen Punkte entsprechenden Druckhöhe und der berechneten oder theoretischen oder die Widerstandshöhe zu der anfänglichen Druckhöhe verhält, wie der Unterschied der Quadrate der berechneten und der wirklichen Geschwindigkeit zu dem Quadrate der ersteren. Der fehlende Druck, insofern er die Wände belastet, heisst der Wanddruck oder der hydrodynamische Druck. Es hängt von dem Geschwindigkeitswerthe ab, ob der hydraulische Druck gleich, kleiner oder grösser als der hydrostatische ist [1]).

---

schuldigt dieses damit (siehe NAVIER, Mém. de l'Institut. Tome IX. Paris 1830. 4. p. 321. 322), dass dann ein gleichförmiger Ausfluss unmöglich sein solle. Die Deutung genügt aber nicht, weil trichterförmige Ansätze das Gegentheil erhärten. Die Ursache des Uebelstandes liegt vielmehr darin, dass man nur eine lineare und keine körperliche Bewegung betrachtet. Kann man $\frac{q''^2}{q^2} = 0$ setzen, weil q'' sehr klein gegenüber von q ist, was durch die Quadratwerthe begünstigt wird, so erhält man das Toricelli'sche Theorem:

$$v = \sqrt{2gh} \tag{29}$$

[1]) Es seien die anfängliche oder die berechnete Druckhöhe h und die wirkliche h', also $h - h' = h''$ die Widerstandshöhe, v und v' die h und h' entsprechenden Geschwindigkeiten, so folgt unmittelbar aus (29)

$$h'' = h \cdot \left(1 - \frac{v'^2}{v^2}\right) \tag{30}$$

§. 159. Kann man eine kreisförmige Ausflussöffnung als unendlich klein ansehen, so gilt das Toricelli'sche Theorem nicht bloss, wenn die Mündung in dem untern Boden, sondern auch wenn sie in der Seitenwand des Behälters angebracht ist. Verbieten dagegen die Verhältnisse diese annähernde Uebertragung, so darf man nicht glauben, dass die wirkliche Druckhöhe mit der mittleren oder der durch den Mittelpunkt der Kreisöffnung bestimmten Druckhöhe, wie bei einer wagerechten Ausflussöffnung zusammenfällt. Der Unterschied beider Werthe nimmt aber um so mehr ab, je kleiner der Durchmesser der Seitenöffnung im Verhältniss zur ursprünglichen Druckhöhe ist [1]).

§. 160. Darf man das Toricelli'sche Theorem als annähernd gültig betrachten und die Wirkungen der letzten zurückbleibenden Flüssigkeitsmassen, so wie die anderen oben erwähnten Störungen vernachlässigen, so ist die Zeit, die ein Behälter zu seiner vollständigen Entleerung ohne Flüssigkeitserneuerung durch eine Bodenöffnung nöthig hat, doppelt so gross, als die, welche zu dem Abflusse der gleichen Flüssigkeitsmenge bei beständig erhaltener Druckhöhe nöthig wäre [2]).

§. 161. Man kann auch das Toricelli'sche Theorem auf die umgekehrte Betrachtungsweise anwenden. Hat ein Körper eine gewisse Grösse von Geschwindigkeit erlangt, so sind wir nicht bloss im Stande, diese auf eine entsprechende Fallhöhe, sondern auch auf eine gleich grosse und entgegengesetzt gerichtete Steighöhe zurückzuführen; die der Körper vermöge derselben, aber entgegengesetzt genommenen Geschwindigkeit in dem luftleeren Raume erreichen würde. Diese Betrachtungsweise kann wiederum zur Erkenntniss der in der Wirklichkeit eingreifenden Widerstandshöhe führen. Sie gleicht natürlich dem Unterschiede der hydraulischen Steighöhe eines senkrecht emporgehenden Flüssigkeitsstrahles

---

Die Widerstandshöhe verschwindet also nur dann, wenn die gefundene und die berechnete Geschwindigkeit gleich ausfallen. Sie ist positiv oder negativ, je nachdem $v > v'$ oder $v < v'$. Verkleinert sich der Unterschied beider, so erleichtern wiederum die Quadrate die Gleichsetzung der wirklichen und der berechneten Druckhöhe.

[1]) Die wirkliche Ausflussmenge gleicht dann der mittleren vervielfältigt durch den Näherungscoëfficienten $1 - \frac{1}{32n^2} - \frac{5}{1024n^4} - \ldots$, wenn n das Verhältniss des senkrechten Abstandes des Flüssigkeitsspiegels im Behälter von dem Mittelpunkte der Kreisöffnung zum Halbmesser der letzteren bezeichnet. (Bossut a. a. O. Tome I. p. 313—314. Weissbach a. a. O. S. 31. Külp a. a. O. S. 340.)

[2]) Den Beweis siehe z. B. bei Mousson a. a. O. S. 101.

und der hydrostatischen Druckhöhe. Man kann sie bei springbrunnähnlichem Hervortreten der Strahlen unmittelbar finden. Jene Steighöhe eines emporgeworfenen Körpers hat noch überdies ihr Gegenstück in dem Ausflusse einer Flüssigkeit, die nicht erneuert wird. Die Ausflussgeschwindigkeit ist dann eben so gut gleichförmig verzögert, als die eines Körpers, den man in dem luftleeren Raume senkrecht in die Höhe werfen würde. Besitzt der Behälter überall den gleichen Querschnitt, so folgen desshalb die gleichen Zeiten entsprechenden Senkungsgrössen seines Flüssigkeitsspiegels der Reihe der ungeraden Zahlen, von denen die grösste den Anfang macht.

§. 162. Eine andere Auffassung lässt sich noch unmittelbarer für physiologische Fragen verwerthen. Denkt man sich, der Strahl trete nicht senkrecht, sondern unter einem andern Winkel in einer gewissen Höhe über dem Horizonte aus, so wird sich immer eine den Fallgesetzen entsprechende Beziehung zwischen der Ausflussgeschwindigkeit, der Weite des Bogens der Flüssigkeit und jener Höhe des Anfangspunktes der parabolischen Curve (§. 49) ermitteln lassen. Die Verhältnisse gestalten sich am Einfachsten, wenn die ursprüngliche Geschwindigkeitsrichtung des Strahles wagerecht ist. Man kann die Sprungweite als Abscisse und die Erhebung des Anfangspunktes über dem Horizonte als Ordinate ansehen. Zerlegt man die Bewegung nach diesen beiden Richtungen, so liefern sie eine einfache Beziehung der zwei Componenten zur berechneten Anfangsgeschwindigkeit und zur Druckhöhe [1]. Man kann daher auf diese Weise Theorie und Erfahrung mit einander vergleichen.

---

[1]) Ist y die erste Ordinate oder die Fallhöhe, so hat man $y = \frac{gt^2}{2}$, wenn g die Beschleunigung der Schwere und t die Zeit des Falles bezeichnet. Nennt man x die Wurfweite des Strahles und v die Geschwindigkeit, so ergibt sich $x = vt$. Eliminirt man t aus diesen beiden Gleichungen, so erhält man:

$$v = x\sqrt{\frac{g}{2y}} \tag{31}$$

Hieraus folgt, wenn h die Geschwindigkeitshöhe ist:

$$h = \frac{x^2}{4y} \tag{32}$$

Diese Gleichung zeigt an, dass die Curve eine Parabel mit dem Parameter 4y bildet. Setzt man $y = h$, so erhält man $x = 2h$. Die Weite des Strahles gleicht dann der doppelten Druckhöhe.

Macht der Strahl den Elevationswinkel α mit dem Horizonte und nennt man a die

§. 163. Die Zusammendrückbarkeit der elastischen Flüssigkeiten erschwert die Uebertragung solcher Betrachtungen auf die Gase und die Dämpfe. Man lässt gewöhnlich die Einflüsse der Wärmeunterschiede, der Adhäsion, der Reibung und der etwa vorkommenden Dampfverdichtung unbeachtet und nimmt das Mariotte'sche Gesetz, nach dem die Dichtigkeiten gerade und die Volumina umgekehrt, wie die äusseren Drucke wachsen, als streng gültig an (§. 117). Denkt man sich dann, mehrere Oeffnungen oder Querschnitte, durch welche die Flüssigkeit strömt, wirkten auf diese in vollkommen übereinstimmender Weise, so ergibt sich zunächst, dass sich die der Zeiteinheit entsprechenden Durchflussmengen wie die Producte der Grösse eines jeden Querschnittes, der ihm entsprechenden Dichtigkeit und Geschwindigkeit oder der Quadratwurzel der Druckhöhe unter sonst gleichen Nebenbedingungen verhalten. Geht durch jeden Querschnitt dieselbe Flüssigkeitsmenge, so folgt hieraus, dass sich die Geschwindigkeiten umgekehrt, wie die Producte jener Querschnitte und der Dichtigkeiten oder bei Gleichheit der letzteren oder bei unzusammendrückbaren Flüssigkeiten, entgegengesetzt wie die Querschnitte allein ändern. Betrachtet man aber auch das Ausströmen der Gase unter den oben erwähnten einfachsten Bedingungen, so lässt sich doch das Toricelli'sche Theorem nur für sehr kleine Oeffnungen und geringe Druckunterschiede näherungsweise annehmen [1]).

Anfangsgeschwindigkeit desselben, so gibt (11) §. 49 die Wurfweite $w = \frac{a^2 \sin 2\alpha}{g}$. Da die grösstmögliche senkrechte Geschwindigkeit des Emporsteigens der gegenwirkenden Schwere wegen $a \sin \alpha$ ist, so hat man, wenn man die Steighöhe h heisst, $h = \frac{a^2 \sin^2 \alpha}{2g}$. Folglich $\frac{1}{4} \operatorname{tg} . \alpha = \frac{h}{w}$. Wurden h und w in der Erfahrung bestimmt, so kann man zunächst α, dann a und endlich die der Geschwindigkeit a entsprechende Druckhöhe berechnen. Man ist also auf diese Weise im Stande, alle in Betracht kommenden Werthe für Strahlen thierischer Flüssigkeiten, die frei austreten, wenigstens näherungsweise zu bestimmen.

[1]) Behält man die in der Anmerkung 2. §. 158 gegebene Bedeutung der Buchstaben bei und bezeichnet das Gewicht der Volumenseinheit ϱg oder die Dichtigkeit unter dem Drucke p mit d und die unter dem Drucke p'' mit d'', so hat man (Poncelet a. a. O. p. 14. Weissbach a. a. O. S. 33):

$$v^2 q''^2 \left(\frac{1}{q''^2} - \frac{d''^2}{d^2}\frac{1}{q^2}\right) = 2g\left(h + \frac{p}{d''} \text{ log. nat. } \frac{p}{p''}\right) \qquad (33)$$

Ist wiederum die Ausflussöffnung im Verhältnisse zu den Querschnitten des Behälters klein, so reicht dieses hier noch nicht für die Annahme der Toricelli'schen Norm hin, da man dann für $\frac{q''}{q} = 0$ immer noch

Man kann es daher auch nicht ohne Weiteres auf die Bewegungserscheinungen der Athemluft anwenden.

§. 164. Die hydraulischen Erfahrungen lehrten, dass der Unterschied der berechneten und der wirklichen Ausflussgeschwindigkeit des Wassers aus der Bodenöffnung eines Behälters nicht vorzugsweise von der Reibung der Flüssigkeit an den festen Begrenzungen der Durchgangsöffnung, sondern von der sogenannten Zusammenziehung des Strahles oder der Venencontraction, deren Bedeutung NEWTON besonders hervorhob, herrührt [1]). Sie wird dadurch bedingt, dass viele Flüssigkeitsfäden schiefe statt senkrechte Bahnen einschlagen müssen, um zur Ausflussöffnung hervorzutreten, diese ihre gegen die Mitte derselben convergirende Richtung eine Strecke weit fortsetzen, die senkrechter herabkommenden Fäden verdrängen und ihnen daher eine grössere Geschwindigkeit mittheilen [2]). Wenn aber die Hydrauliker nicht selten desshalb angeben, man müsse die nach Toricelli's Theorem zu bestimmende Ausflussgeschwindigkeit nicht nach dem senkrechten Abstande des Flüssigkeitsspiegels bis zur Ausflussöffnung, sondern nach dem bis zur Ebene des kleinsten Querschnittes des Strahles berechnen, so kann diese Vorschrift aus mehreren Gründen nicht genügen. Der Ort jenes

---

$$v^2 = 2g\left(h + \frac{p}{d''}\ \text{log. nat.}\ \frac{p}{p''}\right) \qquad (34)$$

erhält. Der Uebergang in die Toricelli'sche Formel $v = \sqrt{2gh}$ fordert noch $p = p''$. Der geringste Druckunterschied entfernt also schon die Ergebnisse von dieser Norm.

Die gewöhnlich angenommene Geschwindigkeitsformel (33) führt natürlich zu einem unendlich grossen Werthe von v, mithin zu einem Widersinn, wenn das Gas in einen leeren Raum strömt, also $p'' = 0$ wird. SEGNITZ (Pogg. Ann. Bd. CXI. 1860. S. 478) suchte dieses dadurch zu verbessern, dass er wie früher schon HOLZMANN (MOUSSON a. a. O. S. 151) den Mittelwerth der beiden Drucke innerhalb und ausserhalb des Behälters oder $\frac{p + p''}{2}$ für den Druck an der Ausflussöffnung nahm. Da man 2gh bei grossen Spannungen zu vernachlässigen pflegt, so hätte man dann statt (34) $v = \sqrt{2g\frac{p}{d''}\ \text{log. nat.}\ \frac{2p}{p + p''}}$ und für $p'' = 0$ $v = \sqrt{2g\frac{p}{d''}\ \text{log. } 2}$. Diese Umänderung kann nur als eine Art empirischer und willkührlicher Verbesserung angesehen werden.

[1]) Man hat den grössten Unterschied, wenn ein cylindrisches Ansatzrohr von einer mit ihm gleich weiten Ausflussöffnung aus in den Behälter hineinragt. Die wirkliche Ausflussgeschwindigkeit kann dann nur die Hälfte der berechneten nach BORDA und VENTURI betragen. Die Breite der möglichen Schwankungen liegt also zwischen 1 und $^1/_2$.

[2]) Die verschiedenen bisherigen Erklärungsversuche dieser Zusammenziehung siehe bei G. HAGEN, Handbuch der Wasserbaukunst. Theil I. Königsberg 1841. 8. S. 189—196.

geringsten Querschnittes lässt sich fast nie genau angeben. Die Flüssigkeitsfäden, die senkrecht über der Bodenöffnung stehen, könnten gerade herunter gehen, wenn sie nicht von seitlichen schief herabtretenden verrückt würden. Da diese Wirkung nach der Linie hin, welche die Mitte der Oeffnung senkrecht durchsetzt, abnimmt, so erzeugt sich ein Trichter, der die Schnelligkeit der Bewegung auch abgesehen von der Zusammenziehung des Strahles verkleinert, so dass schon desswegen die wirkliche von der berechneten Ausflussgeschwindigkeit abweichen müsste.

§. 165. Man kann eine grosse Uebereinstimmung der gefundenen und der theoretischen Werthe durch die passende Wahl der Formen der Behälter und der in die Ausflussmündung eingefügten nicht zu langen Ansatzröhren erreichen. Die Bedingungen gestalten sich im Allgemeinen am Ungünstigsten für die Verengerung des Strahles, wenn die Behälterwand in der Nähe der Ausflussöffnung nach innen ausgehöhlt ist und am günstigsten, wenn sie hier bauchig hervorragt [1]. Kegelförmige Ansatzröhren, die sich nach aussen verengern, liefern in der Regel, besonders bei cylindrischen Behältern, grössere und solche, die sich nach aussen erweitern, kleinere Ausflussmengen, als prismatische von überall gleichem Querschnitte, mithin auch als cylindrische. Die Sprungweite des Strahles ist daher bei conisch-convergirenden Ansätzen am grössten und bei conisch divergirenden am kleinsten [2]. Schweben kleine feste Körper in der Flüssigkeit, so sieht man, dass sich in dem letzteren Falle eine Art von Wirbelbewegung da erzeugt, wo die Venenzusammenziehung auftritt. Der Stoss gegen die fortschreitenden Flüssigkeiten in einer gegen die Bewegungsrichtung gerade oder schief entgegengesetzten Richtung verzehrt eine gewisse Grösse von Druckkraft und Geschwindigkeit [3]. Die Eigenschaften einer Ansatzröhre von bester Form, wie wir sie nach Analogie der aplanatischen Linsen nennen wollen, kann mit der Gestalt des Behälters, der Fläche und der relativen Grösse der Ausflussöffnung und den Nebenbedingungen

---

[1]) Abbildungen, welche die in dieser Hinsicht in Betracht kommenden Wegcurven der Flüssigkeitsfäden, jedoch im Ganzen nur schematisch, erläutern, finden sich bei Navier a. a. O. Add. Pl. C. Fig. 7. Poncelet a. a. O. Taf. 1. Fig. 7—10. Mousson a. a. O. Fig. 90.

[2]) Siehe z. B. die wörtliche und bildliche Erklärung dieser Norm bei Weissbach a. a. O. S. 77. 78.

[3]) Weissbach, Ebendas. S. 76. Fig. 43.

des Druckes und aller Einflüsse, welche die Molecularwirkungen der Flüssigkeit bestimmen, wechseln.

§. 166. Die zweckmässige Verbindung einer Röhre bester Form und eines nachfolgenden cylindrischen[1]) oder kegelförmigen, sich nach aussen erweiternden Ansatzes oder selbst nur ein conisches und divergirendes Stück allein kann eine grössere Ausflussmenge liefern, als das Toricelli'sche Theorem fordert. Man hat dieses aus dem Bernoulli'schen Satze, den man auch oft das Bernoulli-Venturi'sche Theorem nennt (§. 137), also daraus erklärt[2]), dass der Wanddruck einen kleineren oder, wie man unpassend sagt (§. 144), einen negativen Werth besizt, und sich desshalb in eine Saugkraft unter dem Einflusse des äusseren Atmosphärendruckes verwandelt, sowie das Wachsthum der Durchflussgeschwindigkeit eine bestimmte Grösse überschreitet[3]). Die Zunahme der Ausflussgeschwindigkeit

---

[1]) Die Abbildung einer solchen von VENTURI gebrauchten Ansatzcombination einer doppelt kegelförmigen und einer cylindrischen Röhre findet sich bei J. J. D'AUBUISSON DE VOISIN, Handb. der Hydraulik. Uebersetzt v. FISCHER. Leipzig 1835. Taf. I. Fig. 11.

[2]) DAN. BERNOULLI (Hydrodynamica p. 265) hat schon sein Theorem auf ein kegelförmiges, nach aussen sich erweiterndes Ansatzrohr angewendet.

[3]) Man kann sich den Bernoulli'schen Satz am Einfachsten klar machen, wenn man sich in Erinnerung bringt, dass der auf einer Wandstelle lastende Seitendruck der ursprünglichen Druckhöhe weniger der der betrachteten Stelle entsprechenden Geschwindigkeitshöhe nach dem Grundsatze der Gleichheit des Druckes, also für eine unbedingt bewegliche Flüssigkeit gleicht (§. 158), ferner, dass sich in diesem Falle die Geschwindigkeiten umgekehrt wie die Querschnitte des Durchflussbehälters bei derselben Druckhöhe und der überall gleichen Dichtigkeit der Flüssigkeit nach dem Grundsatze der Stetigkeit verhalten (§. 157), endlich dass man jede Fallhöhe und daher auch nach dem Toricelli'schen Theoreme jede Druck- oder Geschwindigkeitshöhe durch das Quadrat der Schnelligkeit getheilt durch den doppelten Werth der Beschleunigung der Schwerkraft wiedergeben kann.

Nennen wir h die Druckhöhe, welche die Geschwindigkeitshöhe an der Eintrittsöffnung des Durchflussbehälters erzeugt, c' die Geschwindigkeitshöhe und w' den Wanddruck, welche der Geschwindigkeit v' an einer bestimmten Stelle von dem Querschnitt q' entsprechen, und sind c'', q'' und v'' die einer anderen Stelle zugehörigen ähnlichen Werthe, so hat man zunächst:

$$w' = h - c' = h - \frac{v'^2}{2g} \qquad (35)$$

Da aber $c' : c'' = v'^2 : v''^2$ und $v' : v'' = q'' : q'$, so erhält man aus (35) die Gleichung:

$$w' = h - c'' \frac{q''^2}{q'^2} \qquad (36)$$

wobei c'' eine Function von c' bildet und $h = c'$ wird, wenn q' der Einflussöffnung entspricht.

müsste daher in dem luftleeren Raume ausbleiben. VENTURI gibt in der That an, dieses in seinen Versuchen gefunden zu haben, während es HACHETTE nach seinen Beobachtungen läugnet. Ist es richtig, dass man die Ausflussmenge eines und desselben Ansatzes durch die Hinzufügung eines cylindrischen Rohres zu vergrössern vermag[1]), so reicht natürlich der Bernoulli'sche Satz allein zur Erklärung dieser Wirkungsweise nicht aus.

§. 167. Man drückt auch den Unterschied der berechneten und der gefundenen Geschwindigkeit dadurch aus, dass man die Toricelli'sche Gleichung mit einem Geschwindigkeits-, einem Reductions- oder Contractionscoëfficienten vervielfältigt, der den wirklichen Werth statt des theoretischen für die gleiche Druckhöhe liefert. Hält man sich nur an die Aenderungen des Wanddruckes, also an die Widerstandsbeziehungen, welche durch den Formenwechsel des Durchflussrohres, nicht aber an die, welche durch die Adhäsion und die innere Reibung erzeugt werden, so ergibt das Bernoulli'sche Theorem ohne Weiteres, dass der Geschwindigkeitscoëfficient der Einheit gleicht oder die blosse Gestalt des Durchflussrohres keine Aenderung des hydrodynamischen Druckes und der Schnelligkeit an irgend einer Stelle der Länge desselben erzeugt, wenn sein Hohlraum gleich grosse Querschnitte an allen Punkten seiner Länge besitzt. Jener Coëfficient bildet einen ächten Bruch,

---

Setzen wir nun

$$q' = mq'' \sqrt{\frac{c''}{h}} \tag{37}$$

wo m einen mit den Verhältnissen wechselnden Coëfficienten bezeichnet, so geht (36) über in:

$$w' = h\left(1 - \frac{1}{m^2}\right) \tag{38}$$

Aller Wanddruck verschwindet also für die erste Stelle, wenn $m^2 = 1$ oder $\frac{q'^2}{q''^2} = \frac{c''}{h}$ ist oder sich die Geschwindigkeitshöhe einer zweiten in Betracht gezogenen Stelle zur ursprünglichen Druckhöhe eben so verhält, wie das Quadrat des Querschnittes der ersten zu dem der zweiten Stelle. Der Wanddruck bleibt positiv, die Wand hat noch einen gewissen Druck der bewegten Flüssigkeit ausser den übrigen auf ihr lastenden Drucken auszuhalten, wenn $m > 1$ ist. Fällt dagegen $m < 1$ aus, so übt die bewegte Flüssigkeit nicht nur keinen Druck gegen die Wand aus, sondern entlastet sie auch in entsprechender Weise von dem sonst vorhandenen Wanddrucke, so dass eine entsprechende Saugkraft erzeugt wird. Man sagt dann, dass ein negativer Wanddruck vorhanden sei — eine nur relativ aufzufassende Bezeichnungsweise, da ein ächter negativer Druck die Flüssigkeit zerstäuben lassen würde (§. 144).

[1]) D'AUBUISSON, nach VENTURI a. a. O. S. 49.

die Theorie gibt für die Ausflussgeschwindigkeit und die Ausflussmenge mehr als die Erfahrung, wenn der kleinere Querschnitt des Durchflussrohres von der Eintrittsstelle der Flüssigkeit entfernter als der grössere liegt. Findet das Umgekehrte statt, so kann der Geschwindigkeitscoëfficient bis über die Einheit hinaus wachsen (§. 15).

§. 168. Die Dauer des Netzhauteindruckes unseres Auges bedingt es, dass wir einen austretenden Flüssigkeitsstrahl noch für ununterbrochen halten, wenn er schon in einzelne rasch vorübereilende Tropfen zu zerfallen beginnt. Die augenblickliche Beleuchtung mittelst des elektrischen Funkens oder die Betrachtung durch die Oeffnung einer mit der nöthigen Schnelligkeit gedrehten Scheibe kann dann die wahren Gestaltverhältnisse erkennen lassen. Savart[1]), der dieses zweite Verfahren zu seinen Untersuchungen benutzte, bemerkte dabei, dass die einzelnen zuletzt auseinanderfallenden Tropfen ihre Formen periodisch ändern und abwechselnd und in allmäligen Uebergangsstufen die Gestalten eines senkrecht und die eines quer verlängerten Sphäroides annehmen. Da die Geschwindigkeit des fallenden Strahles mit dem Sinken desselben wächst, so muss sein Querschnitt in gleichem Verhältnisse abnehmen, so lange der gegenseitige Zusammenhang der Theilchen erhalten bleibt, so lange also nicht der Druck in wahrem Sinne des Wortes negativ wird (§. 144). Man bemerkt zu gleicher Zeit ein eigenthümliches, an die Windungen einer Spirale erinnerndes Aussehen, das von der sogenannten Umkippung oder Umkehrung des Strahles herrührt. Verdickteste und verdünnteste Stellen, Bäuche und Knoten treten abwechselnd auf. Man sieht z. B. bei einer senkrecht spaltenförmigen Austrittsöffnung, wie sie eine Aderlasswunde oder z. Th. die Harnröhre darbietet, dass der zuerst seitlich zusammengedrückte Strahl bald darauf senkrecht zusammengedrückt erscheint und beide Arten von Formänderungen in der Folge mit einander abwechseln, was eben die Täuschung eines spiraligen Verlaufes hervorruft. Die Erscheinung rührt davon her, dass der Druck in der Richtung des grösseren Durchmessers der Ausflussöffnung stärker als in der des kleineren ist und daher die Theilchen einen Bewegungsanstoss erhalten, durch den sich dieser zweite

---

[1]) Savart, Ann. de Chimie. Tome LIII. 1833. p. 337. Dove's Repertorium der Physik. Bd. I. Berlin 1837. 8. S. 115—120. Vgl. auch Magnus, Pogg. Ann. Bd. 95. S. 1—59 und Bd. 106. S. 1—32. Ueber die künstliche Beleuchtung des ausfliessenden Strahles s. Colladon und Babinet, Pogg. Ann. Bd. LVIII. 1843. S. 129—132.

Durchmesser vergrössert. Sie gerathen durch ihn in Schwingungen, aus denen die abwechselnden Knoten und Bäuche hervorgehen. Die Achse des Strahles behält ihre frühere Richtung, wenn nicht seitlich unsymmetrische Stösse an der Ausflussöffnung störend eingreifen. Es war ein Irrthum, wenn man diese Erscheinungen in neuester Zeit als die blosse Wirkung elastischer Röhren von physiologischer Seite ansah und weitere Schlüsse über die im Leben auftretenden Wirkungen auf dieser Annahme aufbaute.

§. 169. Wie wir die Betrachtung des specielleren Falles einer unzusammendrückbaren Flüssigkeit dem allgemeineren der zusammendrückbaren der Einfachheit wegen vorausschickten, so wollen wir aus demselben Grunde die Untersuchung des Durchflusses durch starre Röhren dem durch Röhren mit veränderlichen Durchmessern, also z. B. durch elastische oder durch dehnbare überhaupt vorangehen lassen. Wir werden dabei zuerst die Erscheinungen, welche eine gerade cylindrische Röhre darbietet, verfolgen, hierauf die Einflüsse ungleicher Durchmesser betrachten und endlich die der Verzweigungen zu bestimmen suchen.

§. 170. Treibt eine Kraftwirkung eine unzusammendrückbare Flüssigkeit in ein cylindrisches Rohr mit einer ihr entsprechenden Schnelligkeit ein, so können nicht bloss die Zusammenziehung des Strahles (§. 164) und die Wirbelbewegungen (§. 126), sondern auch noch vier andere Ursachen, die gegenseitige Adhäsion und die Reibung der Flüssigkeitstheilchen unter einander und dieselben zwei Bedingungsglieder in Bezug auf die Röhrenwand einen Theil von Druckkraft aufzehren und daher eine kleinere Ausflussgeschwindigkeit herbeiführen. Die Hydraulik und die Physiologie behandelten die hier in Betracht kommenden Fragen bis auf unsere Tage nach so einfachen Voraussetzungen, dass die Antworten feineren Forderungen nicht genügten.

§. 171. Man berücksichtigte zunächst nur die Verschiebung einer überall gleichartigen Flüssigkeit an der in allen Punkten gleich gedachten Röhrenwand. Der Widerstand, den die wechselseitige Anheftung und die Reibung beider erzeugen, bildet dann eine lineare Function der Berührungsfläche und wächst daher gleichförmig mit der Grösse des Weges oder der Summe der durchlaufenen Querschnitte. Er nimmt daher auch in geradem Verhältnisse der Länge und dem umgekehrten des Durchmessers eines cylindrischen Rohres zu, weil die Berührungsfläche in Vergleich mit der Flüssigkeitsmasse um so grösser ausfällt, je kleiner der Halbmesser des kreisförmigen

Querschnittes ist (§. 59). Da aber das Verhältniss des Umkreises zur Fläche im Kreise kleiner als in einem Polygone gleicher Oberfläche ausfällt (§. 34. Anmerk. 2), so liefert die Cylinderform der Röhren geringere Widerstände als die prismatische, ein Umstand, der für die runden thierischen Gefässe wichtig ist.

§. 172. Man prüft den Wanddruck am Einfachsten, wenn man eine Reihe senkrechter Röhren, sogenannter Druckmesser oder Piezometer an verschiedenen Stellen der Wandung einfügt. Die Flüssigkeit steigt in jeder von ihnen, bis die Säulenhöhe dem auf der entsprechenden Wandstelle lastenden Drucke das Gleichgewicht hält. Ist das cylindrische Rohr überall gleichartig, so bildet die Curve, welche die Entfernungen von der Einflussstelle zu Abscissen und die entsprechenden Wanddrucke zu Ordinaten hat, eine gerade von der Einflussmündung nach der Ausflussöffnung abfallende Linie, weil die Wanddrucke in gleichem Verhältnisse der Entfernungen sinken. Wiederholen sich dagegen nicht dieselben Widerstandsbedingungen an allen Punkten in übereinstimmender Weise, so kann die Curve die verschiedensten Gestalten darbieten.

§. 173. Manche Forscher nahmen als einfachen Erfahrungssatz an, dass der durch die Wände erzeugte Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional sei [1]. Andere [2] beschränkten sich auf diese Voraussetzung, weil sie nur die Reibung in Betracht zogen. COULOMB und vorzugsweise der ältere GERSTNER und PRONY führten eine andere von fast allen späteren Hydraulikern befolgte Auffassungsweise ein. Die Adhäsion erzeugt nach ihnen einen mit der einfachen Geschwindigkeit zunehmenden Widerstand, weil eine um so grössere Menge von Flüssigkeitstheilchen von der Flächeneinheit der Röhrenwand in der Zeiteinheit losgerissen werden muss, je rascher die Strömung dahin geht. Die Reibung dagegen, die von den Unebenheiten der Röhrenwand herrührt, bedingt einen Widerstandswerth, der mit dem Quadrate der Geschwindigkeit wächst [3], weil die Flüssigkeit um so mehr Hervorragungen der Oberfläche der Röhrenwand trifft, je schneller sie läuft und zugleich die Widerstandswirkung jedes einzelnen Stosses in gleichem Verhältnisse der

[1]) Z. B. BRANDES, Gleichgewicht. Th. II. 1818. S. 287. WEISSBACH a. a.O. S. 92.

[2]) Z. B. KÜLP a. a. O. S. 242. 243.

[3]) F. A. v. GERSTNER, Handbuch der Mechanik. Bd. II. Prag 1832. 4. S. 175—177. Diesen Gedanken hat übrigens schon JOH. BERNOULLI ausgesprochen. Siehe Virorum celeberr. GOT. GUL. LEIBNITII et JOH. BERNOULLII Commercium philosophicum et mathematicum. Lausannae et Genevae 1745. 4. Tome II. p. 240. 241.

Geschwindigkeit wächst [1]). Man vervielfältigt daher den für den Widerstand geltenden Ausdruck mit einer Summe, deren erstes Glied aus dem Producte der einfachen Geschwindigkeit und des Adhäsionscoëfficienten und deren zweites aus dem des Quadrates der Schnelligkeit und des Reibungscoëfficienten besteht [2]).

---

[1]) Die Erfahrungen der Hydrauliker lehrten, dass neu angelegte Wasserleitungen in der Regel mehr Wasser liefern, als die Prony'sche Formel fodert. Hat sich aber die Innenfläche der Röhren mit einem noch so dünnen Ueberzuge bekleidet, so ist die wirkliche Ausflussmenge kleiner als die theoretische. Der Reibungswiderstand nimmt dann mit der Breite der Röhre ab. Er wird dagegen von dem Wanddrucke nach Darcy (Comptes rendus. Tome XXXVIII. 1854. p. 407) nicht beeinflusst. Kleine Druckhöhen gestatten das von dem Quadrate der Geschwindigkeit abhängige Glied zu vernachlässigen.

[2]) Man pflegt den Adhäsionscoëfficienten mit α oder A und den Reibungscoëfficienten mit β oder B zu bezeichnen. Nennt man l die Länge und q den Umfang eines prismatischen Rohres, so gleicht die hier in Betracht kommende Berührungsfläche ql. Nun lässt sich jeder Widerstand als eine entgegenwirkende Flüssigkeitssäule von einem bestimmten Gewichte auffassen. Da der Adhäsionswiderstand w' der einfachen Geschwindigkeit v und der Reibungswiderstand w'' dem Quadrate derselben proportional sein soll, so kann man die Ausdrücke von der Form $w' = \alpha vqls$ und $w'' = \beta v^2 qls$ bilden, wo s die Eigenschwere der Flüssigkeit bezeichnet. Wir erhalten daher $w' = \alpha$ und $w'' = \beta$, wenn sowohl qls als v gleich Eins werden oder der Adhäsions- und der Reibungscoëfficient sind diejenigen Widerstandsgrössen, die dem Einheitsgewichte der zum Grunde gelegten Flüssigkeit und der Einheit der Geschwindigkeit entsprechen. Bezeichnet man den Gesammtwiderstand dieser beiden Einflüsse oder $w' + w''$ mit W, so ist zunächst

$$W = qls\,(\alpha v + \beta v^2) \tag{39}$$

oder, wie es manche Hydrauliker schreiben, indem sie $\beta = B'$ und $\frac{\alpha}{\beta} = A'$ setzen,

$$W = qlsB'\,(v^2 + A'v) \tag{40}$$

Eine cylindrische Flüssigkeitssäule, deren Querschnitt a dem der Ausflussöffnung gleicht, deren Höhe der ursprünglichen Druckhöhe h entspricht und deren Eigenschwere s wäre, würde einen Gewichtsdruck ahs ausüben. Bedenkt man, dass die Geschwindigkeitshöhe $h' = \frac{v^2}{2g}$ ist, wenn v die Ausflussgeschwindigkeit bezeichnet, so würde die dieser entsprechende Drucksäule $ah's = \frac{av^2s}{2g}$ sein. Da aber $W = ahs - ah's$, so erhalten wir, wenn wir beiderseits mit as dividiren, nach (39)

$$h - h' = \frac{ql}{a}\,(\alpha v + \beta v^2) \tag{41}$$

Ist die Röhre cylindrisch und nennt man ihren Halbmesser r, so ergibt sich $q = 2r\pi$ und $a = r^2\pi$, folglich:

$$h - h' = \frac{2l}{r}\,(\alpha v + \beta v^2). \tag{42}$$

§. 174. Lassen wir auch vorläufig alle Bewegungsunterschiede der einzelnen Flüssigkeitsfäden unbeachtet, so stimmen doch die neueren Beobachtungen, besonders von HAGEN [1]) und von JACOBSON [2]), mit den Ergebnissen dieser Annahmen nicht überein. Der Erstere [3]) kann es mit den Versuchen, die er über den Durchfluss von Wasser von verschiedenen Wärmegraden anstellte, nicht vereinigen, dass ein Glied des Widerstandes mit dem Quadrate der Geschwindigkeit zunehme, während die erste Potenz derselben eine befriedigendere Uebereinstimmung von Erfahrung und Rechnung darzubieten scheint. Die beiden genannten Forscher [4]) gelangten aber zu dem Ergebnisse, dass sich die Widerstandshöhen nicht umgekehrt wie die Halbmesser, sondern entgegengesetzt wie die Quadrate der Radien verhalten — eine Norm, die zu demselben Gesetze führen würde, wie es POISEUILLE für den Durchgang von Flüssigkeiten durch Haarröhrchen aufgestellt hat (§. 87). HAGEN [5]) glaubte noch, dass ein unveränderliches Glied auftrete, das von den Spannungs- oder den Capillaritätserscheinungen der Flüssigkeit an ihrer Austrittsstelle in die Luft herrühre. JACOBSON [6]) fand diese Annahme für die von ihm gefundenen Werthe nicht nöthig.

§. 175. Ein Gedankengang, dessen Grundlage sich schon z. B. bei BOSSUT [7]) findet, kann eine grössere Annäherung an die Wahrheit liefern. Die Adhäsion und die Reibung in Bezug auf die Röhrenwand werden die zunächst anstossende Flüssigkeit so fesseln, dass sie die verhältnissmässig langsamste Bewegung darbietet. HAGEN [8]) glaubte sogar aus seinen Beobachtungen schliessen zu können, dass eine Wasserschicht von ungefähr $^1/_{64}$ Linie Dicke an der Wand von Messingröhren von 18 bis 40 Zoll Länge und 0,054 bis 0,114 Zoll Durchmesser bei allen Wärmegraden bewegungslos haftet. Die Erfahrungen von JACOBSON [9]) und die Beobachtungen, die man an den Gefässen lebender Thiere anstellt, machen die Annahme einer so dicken ruhenden oder einer mehr als ausserordentlich dünnen be-

---

1) HAGEN, Abhandl. der Berliner Akademie. 1854. Berlin 1855. S. 17—98.
2) H. JACOBSON, in REICHERT und DU BOIS' Archiv. 1860. S. 80—100.
3) HAGEN a. a. O. S. 69.
4) HAGEN S. 70. JACOBSON a. a. O. S. 81—88.
5) HAGEN S. 69.
6) JACOBSON S. 94 und 1861. S. 324.
7) BOSSUT a. a. O. Tome II. p. 135.
8) HAGEN a. a. O. S. 62. WEISSBACH a. a. O. S. 90.
9) JACOBSON S. 94. 95 und 1861. S. 305 und 310.

netzenden und daher unbeweglichen Schicht mehr als zweifelhaft[1]). Man kann nur mit Sicherheit annehmen, dass eine verhältnissmässig unbeweglichste Lage von merklicher Dicke an der Innenfläche der Röhrenwand vorkommt. Eine nächste Schicht kann aber an der Innenfläche von dieser nur mit Ueberwindung eines gewissen Widerstandes der Anheftung und der Reibung dahingleiten. Indem sich dieses fortwährend wiederholt, besteht die ganze in einer innen gleichartigen Cylinderröhre dahin gehende Flüssigkeit aus einer Zahl concentrischer Schichten, von denen jede eine langsamer gleitende unmittelbar nach aussen und eine schneller bewegte nach innen hat. Der Achsenfaden muss daher die grösste Durchflussgeschwindigkeit darbieten. Man kann desshalb nur von einer mittleren Geschwindigkeit oder von derjenigen ideellen Schnelligkeit reden, die man findet, indem man die der Zeiteinheit entsprechende Durchflussmenge durch den Querschnitt theilt. Die an eine ähnliche Formel der Methode der kleinsten Quadrate erinnernde Gleichung, die LAMBERT für die durchschnittliche Schnelligkeit aus dem Grundsatze der Erhaltung der lebendigen Kräfte herleitete, wurde schon §. 153 erwähnt.

§. 176. Diese einfachste Vorstellungsweise, auf der auch NEUMANN seinen von JACOBSON[3]) mitgetheilten Beweis des bald zu betrachtenden Poiseuille'schen Gesetzes gründete, setzt voraus, dass die Bewegung linear sei (§. 12), oder ein jedes Theilchen nur der Achse des Cylinderrohres parallel dahingeht und das Querprofil aus einer Reihe concentrischer Schichten zusammengesetzt wird, deren Geschwindigkeit nur von dem Halbmesser des entsprechenden Kreises oder der Entfernung von dem Durchschnittspunkte durch die Achse abhängt. Der Druck muss daher eine lineare Function des der Achse parallelen Abstandes des betrachteten Punktes von dem entsprechenden Punkte der Einflussmündung sein. Man nimmt ferner, wie NEWTON es zuerst gethan, der Einfachheit wegen an, dass die gegenseitige Reibung zweier benachbarter Flüssigkeitstheilchen dem Unterschiede ihrer Schnelligkeiten oder der relativen Geschwindigkeit proportional sei und beschränkt die Betrachtung auf den stationaren, permanenten, bleibenden Zustand,

---

[1]) Die Beobachtungen von BÈDE (Recherches sur la Capillarité. Bruxelles 1861. 4. p. 143—153) lehrten, dass eine Flüssigkeitsschicht von merklicher Dicke an einer senkrecht gehaltenen Röhre nicht haften bleiben kann.

[2]) NAVIER, Mém. de l'Inst. Tome VI. Année 1823. Paris 1827. 4. p. 391 u. 400—402.

[3]) JACOBSON S. 88—91.

den Beharrungszustand oder die Zeit, in welcher die Geschwindigkeit ihren gleichförmig anhaltenden Werth gewonnen hat. Diese Einschränkungen fehlen in den meisten in der Wirklichkeit vorkommenden Fällen. Man vernachlässigt die Drehbewegungen der Flüssigkeitstheilchen, die bei ungleichen Geschwindigkeiten der an einander gleitenden Schichten entstehen müssen[1]), die Zusammenziehung des Strahles in der Nähe der Einflussöffnung (§. 164), die Unebenheiten der inneren Röhrenoberfläche und alle Bedingungen, welche Wirbel oder Strudel erzeugen, weil alle diese Einflüsse eine gewisse Summe von Flüssigkeitstheilchen so ablenken, dass man weder eine lineare, noch eine ebene Bewegung (§. 12) annehmen kann. Nur die von den Mathematikern ihrer Schwierigkeit wegen noch nicht in Angriff genommene körperliche Bewegung würde daher der Wirklichkeit entsprechen. Jede nicht der Aehse parallele Geschwindigkeit eines Flüssigkeitstheilchens lässt sich aber in zwei zerlegen, in eine der Richtung der Achse parallele und in eine zweite senkrecht auf ihr. Jene wird kleiner als bei der linearen Bewegung sein und diese die Molecüle quer zu verschieben suchen[2]). Die Wirbelbildungen, die nur durch den Verlust an lebendiger Kraft auftreten können (§. 126), werden auf diese Weise tiefe Störungen durch ihre eigene nicht der Achse parallele Bewegungsrichtung und die Stösse gegen Nachbartheile hervorbringen. Treibt die Flüssigkeit mechanisch beigemengte Festgebilde, welche die mannigfachsten Ortsveränderungen ausser der Hauptströmung darbieten, wie dieses im Blute der Fall ist, so findet sich wahrscheinlich kein noch so kleiner Abschnitt der Flüssigkeit, für den eine lineare oder eine ebene Bewegung und der Mangel von Wirbeln im weitesten Sinne des Wortes auch nur für kurze Zeiträume angenommen werden können. Dasselbe wird in noch höherem Maasse der Fall sein, wenn durchbrochene Scheidewände das Rohr an einer Stelle durchsetzen, Manometerröhren quer durch einen Theil des Flussbettes geführt werden oder periodisch verstärkte Drucke ein elastisches Rohr, wie eine Schlagader, von Neuem ausdehnen,

---

[1]) Morin, Comptes rendus de l'Acad. de Paris. Tome LVIII. 1864. p. 727.

[2]) Stefan (Sitzungsberichte der Wiener Akad. Bd. XXXVII. 1859. S. 420—438) nennt den Theil der lebendigen Kraft, welche der der Cylinderachse parallelen Geschwindigkeitscomponente entspricht, die axiale und den andern die laterale lebendige Kraft. Existirt ein Geschwindigkeitspotential (§. 154), so ergibt sich das Theorem, dass für zwei Schichten in verschiedenen Querschnitten die Differenz der axialen lebendigen Kräfte gleich der der lateralen ist.

ehe die Bewegung permanent geworden. Diese rein mechanischen Beziehungen liefern schon eine Verwickelung der Verhältnisse, die wahrscheinlicher Weise allen Bemühungen der Mathematik immer trotzen wird.

§. 177. Es ist bis jetzt nicht gelungen, eine scharfe mathematische Erklärung dessen, was man Reibung nennt, aufzustellen. Die von festen Körpern gegen andere feste Massen hängt von der Grösse der Berührungsfläche nicht ab. Sie wächst dem Drucke proportional und wird bei harten Stoffen von der Geschwindigkeit innerhalb bedeutender Grenzen nicht bestimmt. Was man die Reibung von Flüssigkeiten an festen Wänden nennt, soll, wie NEWTON schon annahm, mit der Berührungsfläche wachsen, nur in entfernter Beziehung von dem Drucke abhängen und immer eine Function des Quadrates der Geschwindigkeit sein oder auch nach der Newton'schen Annahme dem Unterschiede der Geschwindigkeiten der beiden aneinander gleitenden Flüssigkeitsschichten proportional bleiben. Die Betrachtung des Durchganges von Flüssigkeiten durch Hohlräume, die von festen Wänden begrenzt werden, berücksichtigt nur die Reibung an diesen. Sie vernachlässigt aber eine andere Reibungsart, die innerhalb der Flüssigkeit stattfindet. Benetzt die Flüssigkeit die Röhrenwand, so wird die anhaftende Schicht der ersteren die Unebenheiten der letzteren wiedergeben und die erste vorbeigleitende Flüssigkeitslage sich an diesen reiben. Die hierdurch erzeugte Abweichung der Theilchen von der linearen Bewegung erzeugt wiederum ähnliche, wenn auch schwächere Veränderungen für die zweite bewegte Flüssigkeitsschicht, so dass man hier eine wahre innere Reibung der Flüssigkeitsfäden hat. Was man gewöhnlich mit diesem Namen belegt, sind die Folgen der gegenseitigen Anheftung der Flüssigkeitstheilchen, der Klebrigkeit oder der Widerstand, der der Trennung des Zusammenhanges bei der Bewegung entgegentritt. Es frägt sich dabei, ob dieses Bedingungsglied, wie man ohne Weiteres voraussetzt, nach allen Richtungen des Raumes gleichwerthig ist und sich immer in demselben Verhältnisse mit der Geschwindigkeit ändert. Rechnet man endlich noch die fast nie genau bekannten Einflüsse des Wechsels der Temperatur, den eben so wenig sicher zu verfolgenden Umsatz von mechanischer Arbeit in Wärme während der Bewegung und den hierdurch erzeugten Verlust an lebendiger Kraft der mechanischen Leistung (§. 127) hinzu, so sieht man, dass die Uebereinstimmungen der Erfahrungsergebnisse mit den Forderungen einer Theorie nur beweisen, dass die Versuche

nicht fein genug waren, um die Einflüsse aller dieser verwickelten Verhältnisse in merklichen Unterschieden darzulegen.

§. 178. Poisson, Navier und Stockes haben die hydrodynamischen Grundgleichungen dadurch erweitert, dass sie noch die Bedingungen der Klebrigkeit oder der gegenseitigen Anheftung der Flüssigkeitstheilchen aufnahmen [1]. Die Formeln stimmen mit denen des ersten Euler'schen Verfahrens (§. 142) und fügen ihnen nur noch ein Glied hinzu, das aus dem Producte des Reibungscoëfficienten und der Summe der partiellen zweiten Differentialen der Geschwindigkeiten in Bezug auf die Ortscoordinaten enthält [2]. Die gewöhnliche Differentialgleichung, welche die Folge der Stetigkeit der Flüssigkeiten (§. 12) bildet, dient noch zur Vervollständigung [3]. Navier erklärt [4]) dabei die Reibungsconstante oder den Reibungscoëfficienten als den in Gewichtseinheiten ausgedrückten Widerstand, der sich dem Uebereinandergleiten einer Flüssigkeitsschicht über der andern für die Oberflächeneinheit entgegensetzt, wenn zwei Lagen, die um eine lineare Entfernungseinheit wechselseitig abstehen, Geschwindigkeiten von einer linearen Einheit des Unterschiedes besitzen. Setzt man ferner voraus, dass die Schnelligkeit der die Wand berührenden Flüssigkeitsschicht der linearen Einheit gleicht, so entspricht eine andere Constante, der Wandungs- oder Gleitungscoëfficient, dem in Gewichtseinheiten ausgedrückten Widerstande, den das Hingleiten an der Flächeneinheit der festen Begrenzung erzeugt [4]. Navier wandte seine Formeln auf den Durchtritt einer Flüssigkeit durch ein Rohr von rechteckigem und ein solches von kreisförmigem Querschnitte und auf die lineare Bewegung eines offenen Flussbettes an. Die Untersuchung der Verhältnisse der viereckigen Röhre lehrt schon, dass die Geschwindigkeiten der einer linearen Bewegung entsprechenden Flüssigkeitsfäden von der Achse bis zur Wand, wenn die Strömung bleibend geworden, abnehmen

---

[1]) Da Navier von den gegenseitigen Anziehungs- und Abstossungswirkungen der Molecüle ausgeht, so hat er natürlich Einflüsse, die schon bei jeder merklichen Entfernung Null werden. Er benutzt diese Eigenschaft der Wirkung der Wandanziehung, um die Integration von dem ersten gegebenen Werthe bis zu unendlich auszudehnen. Siehe Navier a. a. O. p. 407. Vgl. oben §. 69. Anmerk. 2.

[2]) Navier, Mém. de l'Institut. Tome VI. Année 1823. Paris 1827. 4. p. 414 und z. B. wiedergegeben bei Helmholtz und Piotrowski, Sitzungsberichte d. Wiener Akad. Bd. XL. 1860. S. 631.

[3]) Navier a. a. O. p. 413. Vgl. Anm. 2. zu §. 142.

[4]) Navier p. 416.

und für die zur Achse symmetrischen Stellen gleich ausfallen [1]). Da sich dasselbe für ein cylindrisches Rohr wiederholt, so wird hier die Geschwindigkeit eine blosse Function des Halbmessers der entsprechenden Flüssigkeitsschicht sein (§. 176). Diese Bedingung liefert aber Differentialgleichungen, die mit denen der Wärmebewegung in einem Cylinder übereinstimmen, wenn die von der Achse gleich weit entfernten Punkte gleiche Wärme im Anfange hatten, und die FOURIER schon in seinem Werke über die Theorie der Wärme integrirt hat [2]). Der Ausdruck der Ausflussgeschwindigkeit, den NAVIER [3]) zuletzt erhält, lehrt, dass die mittlere Schnelligkeit die gleiche für viereckige, wie für cylindrische Röhren von demselben kleinen Querschnitte ist. Die Geschwindigkeit hängt dann nur unmerklich von der Cohäsion oder der Klebrigkeit, und fast ausschliesslich von der Wandungsconstante ab. Nimmt der Durchmesser der Röhren zu, so wächst die Geschwindigkeit in noch höherem Maasse. Der Einfluss der Cohäsion vergrössert sich immer mehr. Er bestimmt endlich allein die Schnelligkeit, wenn die Röhre sehr weit geworden. Diese Theorie lässt die Geschwindigkeit in einfachem und nicht in quadratischem Verhältnisse des Durchmessers, selbst für feine Röhren wechseln. GIRARD soll dieses auch in seinen Versuchen gefunden haben.

§. 179. Die Beobachtungen von POISEUILLE [4]) und HAGEN [5]), welche andere Ergebnisse lieferten, bildeten den Ausgangspunkt einer neuen Vorstellungsweise über die Bewegung der Flüssigkeiten in Röhren von kleineren und selbst von grösseren Durchmessern. Es zeigte sich hierbei, dass die Durchflussmenge, die POISEUILLE mittelst der Ablesung durch ein Fernrohr möglichst genau bestimmte [6]), innerhalb gewisser Grenzen des kleinen Querschnittes und der Länge der Glasröhre in umgekehrtem Verhältnisse der Länge und in geradem der Druckhöhe, nicht aber, wie es die ältere Annahme fordern

---

[1]) SAINT-VENANT (L'Institut. 1846. p. 128) stellte später das Theorem auf, dass man für ein cylindrisches Rohr, durch welches eine Flüssigkeit vermöge ihrer Schwere strömt, hat: $f = \varrho g i \frac{r}{2}$, wenn f die Intensität der Reibung, ϱ die Dichtigkeit, g die Beschleunigung der Schwerkraft, i den Neigungswinkel der Röhre gegen den Horizont und r den Abstand des Flüssigkeitstheilchens von der Achse des Rohres bezeichnet.

[2]) NAVIER p. 423. 424.

[3]) NAVIER p. 431.

[4]) POISEUILLE, Poggendorff's Annalen. Bd. LVIII. 1843. S. 424—448.

[5]) Siehe QUINCKE, Die Fortschritte der Physik im Jahre 1860. Berlin 1862. S. 95.

[6]) POISEUILLE a. a. O. S. 426—428.

würde, in der dritten, sondern in der vierten Potenz des Durchmessers wächst [1]). Dieses Poiseuille'sche Gesetz [2]) hat dann zur Folge, dass sich die Geschwindigkeit des Durchflusses durch eine cylindrische Röhre nach dem Quadrate des Durchmessers und nicht, wie die früheren Hydrauliker voraussetzten, nach dem einfachen Durchmesser ändert. POISEUILLE gab noch eine mit Erfahrungsconstanten versehene Gleichung, nach der sich die Ausflussmenge bei verschiedenen Wärmegraden berechnen lässt [3]). Diese fällt

---

[1]) Nennt man v die mittlere Ausflussgeschwindigkeit, d den Durchmesser des cylindrischen Rohres und μ einen mit den übrigen Nebenbedingungen wechselnden Coëfficienten, so hat man nach der früheren Auffassungsweise $v = \mu d$. Da aber die Ausflussmenge $q = \frac{d^2\pi}{4} v$ ist, so erhält man $q = \mu \frac{d^3\pi}{4}$. POISEUILLE dagegen fand $q = \mu \frac{d^4\pi}{4}$. Folglich $v = \mu d^2$.

[2]) GIRARD (Mém. de l'Institut. Année 1816. Paris 1818. 4. p. 189) fand für Röhren, in denen die Bewegung linear geworden:

$$u = \frac{gDh}{4al} \tag{43}$$

wo u die mittlere Geschwindigkeit, g die Beschleunigung der Schwerkraft, D den Durchmesser, h die Druckhöhe, a einen constanten Coëfficienten und l die Länge bezeichnet. Eben so hat NAVIER (a. a. O. p. 431)

$$U = \frac{\varrho g Z}{E\alpha} \cdot \frac{R}{2\left(1 + \frac{ER}{2\varepsilon}\right)} \tag{44}$$

Hier ist U die mittlere Ausflussgeschwindigkeit, ϱ die constante Dichtigkeit der Flüssigkeit, g die Beschleunigung der Schwerkraft, Z die Druckhöhe, R der Halbmesser des Rohres, E der Wandreibungscoëfficient oder die Gleitungsconstante, α die Länge des Rohres und ε der Coëfficient der Adhäsion oder der inneren Reibung der Flüssigkeit. Die Gleichung von POISEUILLE (a. a. O. S. 434) dagegen lautet, wie schon unter (18) angeführt wurde,

$$Q = k \frac{HD^4}{L} \tag{45}$$

wo Q die Ausflussmenge, H die Druckhöhe, D den Durchmesser und L die Länge der Röhre bedeutet. Man erhält daher für die Ausflussgeschwindigkeit

$$V = \frac{4k}{\pi} \frac{HD^2}{L}. \tag{46}$$

[3]) Haben die Buchstaben dieselbe Bedeutung wie in (45), so ist die Poiseuille'sche Wärmegleichung, wenn t die in Celsiusgraden ausgedrückte Temperatur zwischen den Grenzen 0^0 und 45^0 bezeichnet, für destillirtes Wasser und Glasröhren:

$$Q = 1836{,}724\ (1 + 0{,}0336793\ t + 0{,}0002209936\ t^2)\ \frac{HD^4}{L} \tag{47}$$

JACOBSON (REICHERT und DU BOIS' Archiv. 1861. S. 305) berechnete später aus den Erfahrungen, die POISEUILLE dieser Formel zum Grunde legte, eine andere ähnliche Gleichung für die Reibungsconstante η. Sie lautet:

$$\eta = \frac{gD}{5511{,}3} \cdot \frac{1}{1 + 0{,}033679\ t + 0{,}0002209\ t^2} \tag{48}$$

in höherer Wärme grösser aus, weil dann der Widerstand der Anheftung verringert ist.

§. 180. Es lag nahe, die Eigenthümlichkeit des Poiseuille'schen Gesetzes von den Anheftungs- und Reibungserscheinungen oder von der inneren Reibung herzuleiten. Die von GIRARD und POISEUILLE sogenannte unbewegliche Schicht, welche an den Wandungen haften sollte und die abweichenden Werthe, die der Letztere für verschiedene Flüssigkeiten erhalten hatte, leiteten unmittelbar auf diesen Gedanken. Die neuere Zeit lieferte vier Arbeiten, die sich mehr oder minder auf das Poiseuille'sche Gesetz von diesem Standpunkte aus beziehen. HAGENBACH glaubte noch einen eigenen von der Beschaffenheit und dem Durchmesser der Röhre abhängigen und mit dem Quadrate der Geschwindigkeit wachsenden Erschütterungswiderstand[1]), neben der Zähigkeit und der von dem Drucke unabhängigen, der Grösse der Oberfläche und der relativen Geschwindigkeit proportionalen Reibung der Flüssigkeit annehmen zu müssen. Konnte schon die Anwendung, die HAGENBACH von dieser Vorstellung auf weite Röhren versuchte, bei der Lesung seiner Abhandlung Bedenken erregen, so dürften die Einwendungen, die JACOBSON[2]) gegen dieselbe machte, deren theoretische und experimentelle Grundlage durchgreifend erschüttert haben.

§. 181. HELMHOLTZ[3]) entwickelte die Theorie der inneren Reibung mit Zugrundelegung der hydrodynamischen Adhäsionsgleichungen (§. 178) und in Rücksicht auf die mit PIOTROWSKI[4]) angestellten Versuche über die durch Schwingungen erzeugte Gleitung

---

wobei g die Beschleunigung der Schwerkraft und D die constante Dichtigkeit bezeichnet. Vgl. auch HELMHOLTZ in den Sitzungsberichten der Wiener Akad. Bd. XL. 1860. S. 654.

LICHTENBERG bemerkte zuerst die Abnahme der Zähigkeit des Wassers mit der Erhöhung der Wärme und der ältere GERSTNER sah schon, dass die durch sie erzeugte schnellere Bewegung in feinen Röhren auffallender als in weiten hervortritt. Siehe BRANDES in GEHLER's phys. Wörterb. Bd. V. Abth. I. S. 545. HAGEN (Abhandl. der Berl. Akad. 1854. Berlin 1855. 4. S. 18 und 20) fand zwar, dass die Geschwindigkeit des Ausflusses mit der Wärmezunahme bis zu einem Maximum steigt, hierauf sinkt und sich später zu einem kleineren Maximum von Neuem erhebt. Diese Wendepunkte der Aenderungscurve liegen jedoch immer ausserhalb der Grenzen, welche die Physiologie zu betrachten hat.

1) HAGENBACH, Pogg. Ann. Bd. CIX. 1860. S. 425.

2) JACOBSON in REICHERT und DU BOIS' Archiv. 1861. S. 305. 325—327 u. 1862. S. 690. 691.

3) HELMHOLTZ, Sitzungsber. d. Wiener Akad. Bd. XL. 1860. S. 631—658.

4) Ebendas. S. 610—630.

einer Flüssigkeit, vorzugsweise an der Wand einer Hohlkugel und wandte auch seine Formeln auf den Durchfluss durch feine Röhren an. Er verwarf die Annahme einer durch die Benetzung erzeugten unbeweglichen Wandschicht. Die Anziehungskraft der Wandung auf die berührende Flüssigkeit kann nach ihm die Strömung eben so wenig hindern, als die Anziehungskraft der Erde es dem Wasser verbietet, ihrer Oberfläche parallel zu fliessen. Das Haften der Flüssigkeit an der Wand wäre nur möglich, wenn sich die Atome der Flüssigkeit zwischen die der festen Masse, wie bei einer aufquellenden Haut eindrängten, oder die Reibung zwischen dem Wasser und den Wandtheilen in Verhältniss zu der im Innern der Flüssigkeit unendlich gross wäre. Man darf daher nicht unbedingt den Gleitungscoëfficienten Null setzen. Der Werth desselben wechselt aber mit der Natur der Flüssigkeit und der Berührungswand und scheint bei innen glatten Glasflächen und Wasser unmerklich zu sein [1]). Helmholtz entwickelt noch aus den hydrodynamischen Grundgleichungen und der Annahme einer linearen Bewegung eine Formel für die Ausflussmengen der capillaren Röhren, in der die vierte und die dritte Potenz des Halbmessers vorkommt [2]) und die das Poiseuille'sche Gesetz gibt, wenn die Gleitungsconstante Null wird.

§. 182. Die Arbeit von E. Meyer [3]) bildet eine mit allen gegenwärtigen Mitteln der Mathematik und der Physik durchgeführte Verfolgung des Coulomb'schen Versuches, in welchem man die Zähigkeit einer Flüssigkeit aus den Schwingungen einer in ihr befindlichen wagerechten Scheibe um einen senkrechten fadenförmigen Körper zu bestimmen sucht. Coulomb bemerkte schon, dass das gegenseitige Verhältniss zweier auf einander folgender Schwingungsweiten unverändert bleibt. Die successiven Weiten bilden also die Glieder einer geometrischen Reihe, deren logarithmisches Decrement constant ist. E. Meyer [4]) fand die Coulomb'sche Theorie der Erscheinungen

---

[1]) Helmholtz S. 651.

[2]) Helmholtz a. a. O. S. 653. Die Formel lautet:

$$Q = \frac{\pi\,(p_0 - p_1)}{8k^2L}\,[R^4 + 4\lambda R^3] \qquad (49)$$

Hier ist Q die der Zeiteinheit entsprechende Ausflussmenge, p_0 der Druck am Anfange und p_1 der am Ende der Röhre, k^2 der Coëfficient der inneren Reibung, L die Länge und R der Durchmesser der Röhre, endlich λ der Gleitungscoëfficient. Man hat daher das Poiseuille'sche Gesetz, wenn $\lambda = 0$ wird.

[3]) E. Meyer, Pogg. Ann. Bd. CXIII. 1861. S. 55—86. 193—238. 383—425. Der speciell mathematische Theil findet sich bei Crelle, Journ. f. Math. Bd. LIX. S. 229—303.

[4]) Meyer, Ebendas. S. 424.

für tropfbare und gasförmige Flüssigkeiten durch seine Versuche bestätigt. Hieraus folgt dann, dass die äussere Reibung flüssiger Körper dem Geschwindigkeitsunterschiede der beiden Flüssigkeiten, die innere dagegen dem Differentialquotienten der Geschwindigkeit proportional ist. Die letztere nimmt mit der Erhöhung der Wärme ab. Wasser und wässerige Lösungen haben eine weit geringere Reibung als Rüböl. Die Reibung von Salzlösungen ist bald grösser und bald kleiner als die des Wassers[1]).

§. 183. Die drei Abhandlungen von JACOBSON[2]) zeichnen sich nicht bloss durch ein reiches zur physiologischen Verwerthung absichtlich ausgewähltes Versuchsmaterial, sondern auch durch die Mittheilung der von NEUMANN hergeleiteten Hauptgleichungen und deren weitere Verwendung aus. Das Poiseuille'sche Gesetz gilt nur so lange als die Länge und der Durchmesser der Röhre ein gewisses, jedoch noch nicht allgemein bestimmbares Verhältniss zu einander einhalten[3]), weil nur dann die Bewegung der Flüssigkeitstheilchen der Achse parallel oder linear bleibt (§. 12). Nennt man den Punkt, an dem seine Anwendbarkeit aufhört, die Grenze desselben, so kann diese auch mit dem Druck an der Einflussöffnung und der Wärme unter sonst gleichen Verhältnissen wechseln. POISEUILLE und die seine Versuche prüfende Commission der Pariser

---

[1]) Die Reibung der Luft ist viel bedeutender, als man nach der geringen Dichtigkeit derselben erwarten würde. Der Reibungscoëfficient von Atmosphäre von 18⁰ C. gleicht 0,000360 und der für destillirtes Wasser von 15⁰5 C. 0,0131 oder nur ungefähr 37 Mal mehr als der der Luft (MEYER S. 383. 384). Das Rüböl hat einen nahezu 500 Mal so grossen Reibungscoëfficienten als das Wasser (S. 410). Die innere Reibung einer wässerigen Salzlösung besteht aus der gegenseitigen auf die Einheitsdichtigkeit bezogenen Reibung η_ω der Wassertheilchen an einander, der Reibung $\eta_{\omega,s}$ des Wassers gegen das flüssige Salz und der inneren Reibung η_s des Salzes. Nennt man den Reibungscoëfficienten einer Salzlösung η und ϱ_ω die Dichtigkeit des Wassers in der Lösung, ϱ_s die des gelösten Salzes, so erhält man als wahrscheinlichste Formel des Reibungscoëfficienten einer Lösung (S. 405):

$$\eta = \eta_\omega \varrho_\omega^2 + 2\eta_{\omega,s}\varrho_\omega\varrho_s + \eta_s \varrho_s^2 \qquad (50)$$

Ist σ das Verhältniss des in der Lösung enthaltenen Salzes zum Wasser und ϱ die Dichtigkeit der Lösung, so geht diese Gleichung über in:

$$\eta = (\eta_\omega + 2\eta_{\omega,s}\sigma + \eta_s \sigma^2)\left(\frac{\varrho}{1+\sigma}\right)^2 \qquad (51)$$

Da die bei der Lösung auftretende Volumensabnahme gering zu sein pflegt, so kann man auch näherungsweise $\varrho = 1 + \sigma$ nehmen.

[2]) H. JACOBSON in REICHERT und DU BOIS' Archiv. 1860. S. 80—113. 1861. S. 304—328. 1862. S. 683—702.

[3]) JACOBSON 1861. S. 313.

Akademie[1]) hatten das Gesetz für Glasröhren von 0,13 bis 0,27 Millimeter Durchmesser im Lichten gültig gefunden und HAGEN[2]) dasselbe auch auf weitere Röhren ausgedehnt (§. 175). JACOBSON[3]) berichtet, dass ihm destillirtes Wasser und Glas bei 2,8 Mm. Röhrendurchmesser noch denselben Reibungscoëfficienten gab, den POISEUILLE für dünnere Röhren erhalten hatte. Er theilt[4]) auch die Herleitung mit, aus der NEUMANN das Gesetz nach den §. 176 erwähnten Voraussetzungen ableitet.

§. 184. Die Thatsache, dass die Geschwindigkeit, so weit sie von den Wandhindernissen bestimmt wird, wie das Quadrat des Halbmessers innerhalb der Grenzen des Poiseuille'schen Gesetzes

---

[1]) POISEUILLE a. a. O. S. 443.

[2]) HAGEN, Abhandl. der Berliner Akademie. 1854. Berlin 1855. 4. S. 70.

[3]) JACOBSON 1860. S. 87. POISEUILLE hat z. B. 0,000031072'' g für 20°,5 C. und JACOBSON 0,000031720'' g für 20°,2 C.

[4]) JACOBSON 1860. S. 88—91. Vgl. auch 1861. S. 320. 321. Die Formel, zu der NEUMANN nach einer allgemeinen Herleitung gelangt (1860. S. 91) ist:

$$e = \frac{R^2 p^0}{8\eta l} \tag{52}$$

wo e der mittleren Ausflussgeschwindigkeit, R dem Halbmesser, l der Länge der Röhre, p^0 dem Drucke an der Einflussöffnung entspricht und 8η den Reibungscoëfficienten darstellt, also das Poiseuille'sche Gesetz (Gleich. 46). Eine zweite Herleitung, welche die Schwere, die gegebenen Druckkräfte, die innere Reibung und die Wandgleitung berücksichtigt (1861. S. 320. 321) führt zu der Endformel:

$$2e^2\left[\left(1+\frac{2\eta}{\varepsilon R}\right)^2+\left(\frac{2\eta}{\varepsilon R}\right)^2-\frac{\pi^2 R^4 e^2}{Q_0^2}\right]=2gh+2\left(\frac{P^0-P}{D}\right)-2\left(\frac{8\eta l e}{D\left(1+\frac{4\eta}{\varepsilon R}\right)R^2}\right). \tag{53}$$

Hier ist e die mittlere Ausflussgeschwindigkeit, η die innere Reibungsconstante, ε der Gleitungscoëfficient, R der Halbmesser der Röhre, Q_0 der Querschnitt des Druckbehälters der Flüssigkeit, h die beständig gedachte Druckhöhe, P^0 der Druck auf die Oberfläche der Flüssigkeit im Druckbehälter, P der auf die Ausflussöffnung und D die Dichtigkeit. Hat die Flüssigkeit nur den Atmosphärendruck an beiden Seiten auszuhalten, so wird $P^0 = P$. Benetzt sie die Wand, so ist ε unendlich gross gegenüber von η (§. 181). Denkt man sich noch den Behälterquerschnitt Q_0 unendlich gross gegen den Querschnitt der Röhre $= R^2\pi$, so vereinfacht sich die Gleichung zu:

$$2gh = 2e^2 + 2\left(\frac{8\eta l}{DR^2}\right) e. \tag{54}$$

Das Toricelli'sche Theorem allein, also die Vernachlässigung der Reibung, würde $2gh = e^2$ geben. Nimmt man an, dass sich der Strahl hinter der Einflussöffnung zusammenzieht und dann wieder ausbreitet und an die Wand anlegt, so muss man e^2 mit $1 + \left(\frac{1-\gamma}{\gamma}\right)^2$ vervielfältigen, wenn γ den Contractionscoëfficienten bezeichnet.

wächst, bekräftigt von Neuem, dass sich die Flüssigkeit nicht wie ein fester Körper bewegt, dessen sämmtliche Theilchen die gleiche Geschwindigkeit haben. Das Gesetz wird übrigens bei einer gewissen Druckhöhe zwischen Wärmegraden von 18° und 25° C. überschritten, gilt jedoch bei den gleichen Druckhöhen für niedere Temperaturen [1]). Wirbelbewegungen scheinen die Ursache der Grenze des Gesetzes zu bilden. Der Druck in der Röhre ist immer noch selbst nach der Ueberschreitung desselben eine lineare Function der Entfernung [2]). Der Geschwindigkeitscoëfficient hängt wahrscheinlich von der Druckhöhe ab [3]). Der Werth des Bruches, der diese letztere zum Zähler und den Druck an dem Anfange der Röhre zum Nenner hat, nimmt vermuthlich nicht bloss bei weiten, sondern auch bei engen Röhren mit der Druckhöhe ab [4]).

§. 185. Untersuchte Jacobson [5]) die Drucke in unmittelbarer Nähe der Einströmungsstelle der Flüssigkeit aus dem Druckbehälter in den Anfangstheil des Rohres, so fand er, dass der Anfangsdruck innerhalb des ersten Röhrenquerschnittes, so lange die Bewegung der Achse parallel bleibt, der Länge der Röhre und der mittleren Ausflussgeschwindigkeit gerade und dem Quadrate des Halbmessers umgekehrt proportional ausfällt. Hört in weiteren Röhren die Geltung des Poiseuille'schen Gesetzes auf und wird daher der Zusammenhang des Strahles, wie schon Hagen beobachtete, unterbrochen, so ist stets der Druck in der Nähe der Einflussöffnung merklich kleiner, als in einigem Abstande von derselben. Der Unterschied steigt, je weiter man sich von der Grenze des Gesetzes entfernt. Er ist Null, wenn sich dieses anwenden lässt, weil sich dann die Wirbel über eine nur sehr kurze Stelle hinter der Einflussöffnung erstrecken [6]). Die Drucke an der Einflussöffnung aber, bei denen die Poiseuille'sche Norm ihre Gültigkeit verliert, sind der Röhrenlänge

---

[1]) Jacobson 1860. S. 91.

[2]) Jacobson S. 92.

[3]) Weissbach (Die Fortschritte der Physik im Jahre 1859. Berlin 1861. S. 79) fand, dass die Ausfluss- und die Reibungscoëfficienten bei einem Drucke von 103 Meter dieselben waren, wie bei geringeren Druckhöhen, die Wasser durch eine Röhre trieben. Zeuner (Die Fortschritte der Physik im Jahre 1854. Berlin 1857. S. S. 166. 167) dagegen sah bei Wasserdruckhöhen von 0,019 bis 0,139 Meter, dass der Ausflusscoëfficient mit wachsender Druckhöhe regelmässig zu- und der Reibungscoëfficient ebenfalls regelmässig abnahm.

[4]) Jacobson S. 98—100.

[5]) Jacobson 1861. S. 310.

[6]) Jacobson 1861. S. 311.

proportional[1]). Jenseit dieser Grenze sinkt die Spannung an der Eintrittsmündung des Rohres plötzlich. Sie steigt hierauf in den zunächst gelegenen Querschnitten der Flüssigkeit an und erreicht endlich einen grössten Werth, der um so näher der Einflussöffnung liegt, je enger das Rohr ist. Die von diesem Punkte aus weiter in der Peripherie gemessenen Drucke verhalten sich, wie innerhalb der Gültigkeit des Poiseuille'schen Gesetzes. Die Curve, welche die Entfernungen zu Abscissen und die Druckhöhen zu Ordinaten hat, bildet also eine gerade Linie[2]) (§. 172).

§. 186. Setzt man eine den Seitendruck messende senkrechte Röhre so ein, dass sie nicht in das Lumen des cylindrischen Rohres hineinragt, so wird sie nur die Theilchen von ihrer der Achse parallelen Bahn ablenken, wenn die Flüssigkeit in das Manometer einströmt oder sich das Niveau des Inhaltes des letzteren mit dem Wanddrucke ändert. Der Umstand, dass der der Einfügungsstelle gegenüberliegende Röhrenwandtheil die Bedingungen des Rückstosses bei freiem Ausflusse darbieten würde, kann hier keine merkliche Störung erzeugen. Ragt dagegen das Manometer in das Innere des Rohres hervor, so entstehen natürlich Wirbel oder die Strudel von Joh. Bernoulli (§. 126), welche den Druck und die Geschwindigkeit ändern. Führten Ludwig und Stefan[3]) dünne Manometerröhren in der Richtung des Halbmessers eines cylindrischen Durchflussrohres ein, so wechselte desshalb die mittlere Ausflussgeschwindigkeit. Der Druck nahm nicht bloss an der gegenüberliegenden Wand, sondern auch an einer um 90° entfernten Stelle des Umkreises ab. Verbanden sie das freie Ende des eingesetzten Druckmessers mit einem gegenübergestellten durch ein gebogenes Rohr, so erzeugte sich ein Strom, der von dem zweiten zu dem ersten Manometere dahinging. Schaltet man einen durchbrochenen Schirm in die Röhre ein, so sinkt die Geschwindigkeitshöhe des Ausflusses im Verhältniss des Querschnittes der Durchflussöffnung zu der Summe der Querschnitte beider Mündungen, wenn man die Wirbelbildung und die Strahlenzusammenziehung nicht berücksichtigt[4]).

---

1) Jacobson 1861. S. 318.

2) Jacobson 1861. S. 328.

3) C. Ludwig und J. Stefan, Sitzungsber. der Wiener Akad. Bd. XXXII. Wien 1858. S. 25—42.

4) Daniel Bernoulli, Hydrodynamica p. 145. Bossut, Tome I. p. 383. 384. Die Angabe von Petrie (Die Fortschritte der Physik im Jahre 1854. Berlin 1856. 8. S. 172), dass Wasser, welches durch eine grosse Reihe von Verengerungen, z. B. durch Sand

§. 187. Man darf schon nach dem früher Erläuterten erwarten, dass eine plötzliche Aenderung des Querprofils eines Flussbettes, die eine Abweichung von der linearen Bewegung und Wirbelbildungen zur Folge hat[1]), eine gewisse Menge lebendiger Kraft aufzehrt und daher den Verlust eines entsprechenden Theiles von Druckhöhe und Geschwindigkeit herbeiführt[2]). Der Ausdruck für den hierdurch erzeugten Widerstandscoëfficienten wird von den Hydraulikern nach dem Quotienten der beiden Querschnitte theoretisch bestimmt[3]). JACOBSON[4]) fand bei plötzlichen Verengerungen,

fliesst, eine Ausflussgeschwindigkeit darbietet, die der Druckhöhe und nicht der Quadratwurzel derselben proportional ist, bedarf noch der Bestätigung.

BERNOULLI und DU BUAT nahmen an, dass man den an der plötzlichen Aenderung des Flussbettes entstehenden Widerstand durch $\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_{,}^2}{2}$ ausdrücken kann, wenn m die Masse der in der Zeiteinheit ausströmenden Flüssigkeit und v und $v_{,}$ die beiderseitigen Geschwindigkeiten bezeichnen. Die Erfahrung lehrte aber, dass dieser Ausdruck zu grosse Werthe liefert. BORDA ersetzte ihn später durch die Gleichung $w = \frac{m(v - v_{,})^2}{2}$, die ST. VENANT (Die Fortschritte der Physik im Jahre 1846. Berlin 1848. 8. S. 73) strenger zu beweisen suchte.

Die Wirbelbewegungen verlieren sich im Laufe der Strömung in dem Maasse, als die neuen Widerstände der inneren und der äusseren Reibung dieselben allmälig aufzehren. Ihre Ausdehnung wird daher im Allgemeinen umgekehrt, wie diese unter sonst gleichen Nebenbedingungen wechseln.

P. DU BOIS-REYMOND (Untersuchungen über die Flüssigkeiten, über deren innere Strömungserscheinungen, über die Erscheinungen des stillstehenden Tropfens, der Ausbreitung und Vertreibung. Berlin 1854) hat die Mechanik der bei der plötzlichen Erweiterung des Wasserlaufes z. B. in einer Bucht entstehenden Strudelbildungen und die bei allen solchen Wirbeln auftretenden Drehungen der Wassermasse um eine trichterförmige Vertiefung ausführlich erläutert. Siehe die Fortschritte der Physik im J. 1854. Berlin 1857. 8. S. 159.

[1]) Eine genauere Untersuchung der Entstehung der Strudel bei plötzlicher Erweiterung des Flussbettes findet sich in P. DU BOIS-REYMOND, Die Fortschritte der Physik im Jahre 1857. 8. S. 156—159.

[2]) Die erste hierher gehörende Formelableitung rührt von BORDA her. Siehe JULLIEN, Problèmes de Mécanique. Tome II. Paris 1855. S. p. 476.

[3]) Nennt man h den Verlust an Druckhöhe, v' die erste und v'' die zweite Geschwindigkeit, q' und q'' die entsprechenden Querschnitte und g die Beschleunigung der Schwerkraft, so soll man, da $q'v' = q''v''$ ist, haben:

$$h = \frac{(v' - v'')^2}{2g} = \frac{\left(\frac{q''}{q'} - 1\right)^2 v''^2}{2g} = Z\,\frac{v''^2}{2g} \qquad (55)$$

wenn Z den hier in Betracht kommenden Widerstandscoëfficienten bezeichnet. Vergl. WEISSBACH, Experimental-Hydraulik. S. 131—147. Vgl. gegen diese Auffassung MEYER, Die Fortschritte der Physik im Jahre 1856. Berlin 1859. 8. S. 138. 139.

[4]) JACOBSON a. a. O. 1862. S. 686.

dass zuerst der Druck in der weiteren Röhre in einem bestimmten Zwischenraume unverändert blieb, und hierauf an der Uebergangsstelle in die engere Röhre bedeutend abnahm. Diese Erniedrigung erhielt sich in geringem Grade eine Strecke weit innerhalb des engeren Rohres. Theorie und Erfahrung ergeben überdiess, dass der Unterschied des Druckes an einem beliebigen Querschnitte und an der Ausflussöffnung eine lineare Function der Entfernung in beiden Strombahnen mit Ausnahme der Uebergangsstelle bildet. Dasselbe wiederholt sich für die Gültigkeit des Poiseuille'schen Gesetzes. Die Uebergangsstelle selbst liefert einen nahezu beständigen Contractionscoëfficienten [1]). Verengert man die Ausflussöffnung, so schadet dieses nach Hagen [2]) der Ausflussmenge weit mehr, als wenn eine gleich grosse Verengerung im Laufe der Röhre angebracht ist, weil die zur Erzeugung der grösseren Geschwindigkeit aufgewandte lebendige Kraft den folgenden Flüssigkeitssäulen in dem zweiten Falle zu statten kommt.

§. 188. Erweitert sich die Strombahn plötzlich, so ist der Druck am Ende der engeren Röhre stets grösser als am Anfange der weiteren. Man hat ein Minimum hinter dem Anfange der Querschnittsvergrösserung. Ihm folgt ein Maximum, von dem aus die Curve nach Null abnimmt. Man ist im Stande, jenen kleinsten und den grössten Druckwerth gleichzeitig durch Vergrösserung der Druckhöhe im Druckbehälter oder durch eine zunehmende Verengerung der Ausflussöffnung der Uebergangsstelle der beiden Flussbette näher zu bringen. Ueberschreitet die Ausflussöffnung eine gewisse Grösse in Verhältniss zum Querschnitt des weiteren Rohres, so kann jeder Seitendruck in diesem mangeln [3]). Die Erscheinung, dass der Druck am Ende der engeren Röhre geringer, als an dem Anfange der weiteren sei, für die man den Namen der *negativen Stauung* vorgeschlagen hat [4]), kommt in der Wirklichkeit nicht vor [5]). Je allmäliger eine weitere Röhre in eine engere übergeht, um so geringer ist der Verlust an lebendiger Kraft. Man kann ihn auch durch passende Zwischenröhren wesentlich verkleinern [6]).

---

[1]) Jacobson 1862. S. 695—698.

[2]) Hagen, Handbuch der Wasserbaukunst. Erster Theil. Königsberg 1841. 8. S. 222. 223.

[3]) Jacobson S. 699—701.

[4]) Volkmann, Haemodynamik. S. 50.

[5]) Jacobson S. 684 und 701. 702.

[6]) Siehe z. B. die Abbildung von solchen bei Weissbach a. a. O. S. 134. Fig. 73. 74.

§. 189. Macht das cylindrische Rohr eine plötzliche Kniebiegung, so nennt man den Ablenkungswinkel denjenigen Winkel, den die verlängerte Achse des einen Röhrenstückes mit der des andern bildet. Die Hälfte desselben entspricht dem Bricolenwinkel. Die meisten Hydrauliker nehmen seit DUBUAT an, dass der von der Kniebeugung herrührende Widerstandscoëfficient dem Quadrate der Geschwindigkeit und dem des Sinus des Bricolenwinkels proportional sei [1]). Andere [2]) drücken ihn durch die Summe der mit einer Constante vervielfältigten zweiten Potenz plus der mit einer andern Constante vervielfältigten vierten Potenz jenes Sinus aus. YOUNG [3]) verwarf diese Annahmen, und liess es unentschieden, ob die Verzögerung von dem einfachen Sinus oder dem Quadrate desselben abhängt. Da die Wirkung der Krümmung mit der Stärke derselben wächst, so wird der Widerstand in nahezu umgekehrtem Verhältnisse des Krümmungshalbmessers stehen. Er soll sich für gleiche Krümmungen in weiten Röhren nachdrücklicher als in engen geltend machen, weil dann die Bewegungsstörungen der Flüssigkeit grösser ausfallen — eine Ansicht, die sich in der Erfahrung nicht bestätigt. Man kann sogar den Widerstand durch eine einseitige Erweiterung an der Krümmungsstelle vermindern [4]). Da die Trägheit jeden der Achse des ersten Rohres parallelen Flüssigkeitsfaden in derselben Richtung auch jenseit des Kniees fortzuführen sucht, so kommen auf diese Weise eine Zusammenziehung des Strahles, ein Anprallen und eine Zurückwerfung an den Wänden und Wirbel zu Stande. Eine allmälige Krümmung wird diese mit Verlust an lebendiger Kraft verbundenen Uebelstände merklich herabsetzen [5]). Die Erfahrungen der Hydrauliker lehrten, dass eine genau kreisförmige Krümmung keinen merklichen Druckverlust erzeugt, wenn der Krümmungs-

[1]) D'AUBUISSON a. a. O. S. 181.

[2]) WEISSBACH a. a. O. S. 149. KÜLP a. a. O. S. 348.

[3]) TH. YOUNG, Phil. Transact. 1808. p. 173. 174.

[4]) Eine passende Form derselben zeichnet WEISSBACH a. a. O. S. 150. Fig. 82.

[5]) Nennt man u die mittlere Geschwindigkeit der Flüssigkeit, l die Länge des kreisförmig gekrümmten Röhrenstückes, r den Krümmungshalbmesser seiner Achse und d den Durchmesser der Röhre, so findet SAINT-VENANT (Die Fortschritte der Physik im Jahre 1862. Berlin 1864. 8. S. 39. 40) nach einer Umänderung einer hierher gehörenden du Buat'schen Gleichung für die Widerstandshöhe den Näherungswerth $0{,}09617\,\frac{u^2 l d^{\frac{1}{2}}}{2 g r^{\frac{3}{2}}}$, wo g die Beschleunigung der Schwerkraft bedeutet.

halbmesser mehr als zehn Mal so lang als der Durchmesser der Röhrenleitung ist[1]).

§. 190. Die Hydrauliker nehmen an, dass der durch eine Verzweigung erzeugte Verlust an Druckhöhe dem Producte einer Constanten, des Quadrates der Geschwindigkeit in dem Stamme vor der Theilung und der um den Cosinus des Abgangswinkels verminderten Einheit oder des Sinus versus gleicht[2]). Eine irgend genügende theoretische Behandlung dieser Frage ist noch nicht versucht worden. Man müsste hierbei drei Bedingungsglieder vorzugsweise berücksichtigen. Je nachdem die Gesammtsumme der Querprofile der Aeste kleiner oder grösser als das Querprofil des Stammes ausfällt, muss unter sonst gleichen Verhältnissen das Gesammtmittel der Geschwindigkeit der Verzweigungen in die Höhe gehen oder sinken. Die Schnelligkeit in einem einzelnen Aste lässt sich ohne Berücksichtigung der Einflüsse der Zweigwinkel und der nicht linearen Bewegung bestimmen, wenn man die Querschnitte und die Geschwindigkeiten des Stammes und der übrigen Aeste kennt[3]). Man wäre im Stande, die Wirkung des Verzweigungswinkels zu verfolgen, wenn man zunächst den Hauptstamm und jeden Ast als eine Knieröhre auffasste, den Ablenkungswinkel und die Hälfte desselben oder den Bricolenwinkel (§. 189) aus der Richtung der Stromesachse in dem Stamme und in dem Aste ermittelte und dann den Zweig als ein schief eingefügtes Manometer ansähe, dessen Wirkung mit dem Cosinus des Ablenkungswinkels vervielfältigt die Geschwindigkeitshöhe und mit dem Sinus desselben multiplicirt den blossen Wanddruck des Stammes geben würde. Die Zurückwerfungen der Flüssigkeitstheilchen, die Zusammenziehung des Strahles und die Wirbel hängen von der Theilungsweise, der Form und der Grösse der Zweigöffnung und den Gestaltbeziehungen

---

[1]) Jullien a. a. O. p. 476. Man soll den Widerstand der Krümmung von Leitungsröhren nach Caligny (Compt. rend. Tome XLI. 1855. p. 328—330) vermindern können, wenn man der Biegung concentrische Schichten in das Rohr einschiebt.

[2]) Also $kv^2 (1 - \cos i)$. Siehe z. B. d'Aubuisson a. a. O. S. 205. 206.

[3]) Seien Q der Querschnitt des Stammes und V die Geschwindigkeit in ihm, $q', q'' \ldots$ und $v', v'' \ldots$ dasselbe in den Zweigen, endlich c die mittlere Geschwindigkeit der Gesammtsumme der Aeste, so hat man: $QV = q'v' + q''v'' + \ldots = (q' + q'' + \ldots) c$. Folglich:

$$c = \frac{QV}{q' + q'' + \ldots} \qquad (56)$$

und

$$v' = \frac{QV - (q''v'' + \ldots)}{q'} \qquad (57)$$

von Stamm und Aesten in so hohem Grade ab, dass sich nichts Allgemeines in dieser Hinsicht angeben lässt.

§. 191. Es stimmt mit dieser Auffassungsweise und dem früher Dargestellten, wenn JACOBSON [1]) beobachtet hat, dass die Erweiterung des Strombettes mittelst der Eröffnung eines Seitenzweiges eine erhebliche Druckabnahme, unter welchem Winkel auch der Abgang stattfinde, nach sich zieht. Der Druck sinkt aber in dem Hauptstrome um so mehr, je kleiner der Theilungswinkel ist und zwar stärker in der Nähe der Spaltung als in grösserer Entfernung. Die Summe der mittleren Ausflussgeschwindigkeiten der beiden Theilströme einer einfachen Verzweigung ist von dem Theilungswinkel (zwischen 30° oder 45° bis 90° oder 150°) und wahrscheinlich auch der Druck derselben unabhängig [2]). Das Verhältniss der Drucke in den Theilströmen zu einander wächst mit dem Theilungswinkel analog dem Verhältnisse der Schnelligkeiten. Die Geschwindigkeit eines jeden Theilstromes ist dem Drucke proportional. Oeffnet man dem Strome vier kreuzförmig gestellte Zweigbahnen, so sinkt immer der Druck in dem Hauptstrome dermaassen, dass er bedeutend geringer als in dem gerade fortgehenden Theilstrome ausfällt. Zwei gegenüberliegende Seitenzweige haben dann den gleichen Druck, wenn der Theilungswinkel 90° beträgt. Er steigt in dem einen Aste und sinkt in entsprechender Weise in dem anderen, so wie sich der Abzweigungswinkel des letzteren verkleinert [3]).

§. 192. Hat man ein kreuzweise gestelltes in dem Durchschnittspunkte wechselseitig verbundenes Röhrensystem, so können in diesem zwei Ströme aneinander prallen, ohne sich zu vermischen. Sendete DUFAY [4]) gefärbtes Wasser durch die erste und farbloses durch die zweite der vier Röhren, so ging fast gar kein farbiges Wasser zu der vierten der letztern entsprechenden Röhre heraus. Man wird dieses Ergebniss um so reiner erhalten, je grösser der Geschwindigkeitsunterschied der beiden Ströme ausfällt.

§. 193. Keiner der von den Hydraulikern gebrauchten Strommesser [5]) darf auf grössere Genauigkeit als sie die gewöhnliche

---

[1]) JACOBSON a. a. O. 1860. S. 109.

[2]) JACOBSON 1860. S. 104. 109. 110.

[3]) JACOBSON S. 112.

[4]) DUFAY bei BRANDES in Gehler's phys. Wörterb. Bd. V. Abth. I. S. 545. 546.

[5]) Beschreibungen und Abbildungen der wichtigsten älteren Strommesser geben J. A. v. GERSTNER, Handbuch der Mechanik. Bd. II. S. 304—316 und MUNCKE in Gehler's physikalischem Wörterbuch. Bd. VIII. Abth. II. S. 1178—1189. Vgl. auch

Technik fordert, Anspruch machen. Man kann sie auf drei Hauptgrundlagen zurückführen. Die Schwimmer bilden Körper, deren Eigenschwere so hergestellt ist, dass nur der oberste Theil des durch den Strom fortgeführten Körpers zur Oberfläche der Flüssigkeit hervorragt. Die Pitot'sche Röhre ist ein senkrechtes Rohr, das sich unten wagerecht umbiegt und dann mit einem Trichter verbindet. Das gegen diesen strömende Wasser erhebt sich zu einer Druckhöhe, die der Geschwindigkeit an der Einströmungsstelle insofern entspricht, als nicht die Zusammenziehung des Strahles, die Wirbel, die Kniebeugung, die äussere und die innere Reibung des Wassers und die Anziehung der Röhrenwand Störungen herbeiführen. Der Stromquadrant, das hydrometrische oder hydraulische Pendel, das VIERORDT[1]) in seinem Hämotachometer für physiologische Zwecke verwerthete, sucht die Geschwindigkeit nach dem Winkel zu bestimmen, um den sie ein Pendel von seiner Anfangsstellung ablenkt. Die Untersuchungen, die man bis jetzt über die Stromgeschwindigkeit des Blutes in den grösseren Körpergefässen der Säugethiere mit dem Hämodromometer von VOLKMANN[2]) oder dem Hämotachometer anstellte, wurden so durchgeführt, dass man ein Kästchen von anderem Durchmesser als dem der Schlag- oder Blutader, die zur Prüfung diente, in diese einschaltete. Man hatte also alle Störungen[3]), welche die plötzliche Aenderung des Querprofils des Flussbettes erzeugt. Die, welche die Verdünnung der Röhre, die rechtwinkelige Umbiegung der Stromesrichtung, die Anziehungswirkungen der Glasröhre und die Verdrängung oder die Vermischung von Blut und Wasser bedingten, kamen noch in dem Hämodromometer hinzu[4]). Die gefundenen Schnelligkeitswerthe

---

D'AUBUISSON a. a. O. S. 139—146. Ueber den neueren Strommesser von BOILEAU siehe: Die Fortschritte der Physik im Jahre 1846. Berlin 1848. 8. S. 65, und im Jahre 1849. Berlin 1853. S. 59. 60, und über den von SAINT-VENANT ebendas. 1846. Berlin 1848. 8. S. 72.

[1]) K. VIERORDT, Die Erscheinungen und Gesetze der Stromgeschwindigkeiten des Blutes. Zweite Ausgabe. Berlin 1862. 8. S. 16—18. Taf. I.

[2]) A. W. VOLKMANN, Die Haemodynamik nach Versuchen. Leipzig 1850. 8. S. 185—190. Taf. III. Fig. 1—4.

[3]) Vgl. VIERORDT a. a. O. S. 6—10.

[4]) Da der Zugang zu den beiden Röhren des Haemodromometers durch zwei Hahnvorrichtungen, die ein Zahnwerk verbindet, geöffnet wird und die Gefahr einer ungleichzeitigen Lüftung beider Mündungen aus diesem Grunde nahe gerückt ist, so liess ich ein Kästchen der Art machen, in dem ein in eigenthümlicher Weise doppelt knieförmig durchbohrter Hahn den geraden Durchgang des Blutes oder den durch die schleifen-

mussten daher von den wirklich vorhandenen nach Maassgabe dieser Nebeneinflüsse abweichen.

§. 194. Trifft eine in Bewegung begriffene Flüssigkeitsmasse den ihr gegenüberstehenden Oberflächentheil eines anderen Köpers, so ertheilt sie ihm einen hydraulischen Stoss. Er erzeugt nach dem Newton'schen Grundsatze der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung dieselbe Leistung, als wenn die gleiche Körperoberfläche mit der Geschwindigkeit, mit der die Flüssigkeit strömt, gegen die ruhende Flüssigkeit getrieben würde. Der Druck der bewegten Flüssigkeitsmasse, den man nur missbrauchsweise den Stoss derselben nennt, und ihr Widerstand gegen einen bewegten Körper stimmen daher im Wesentlichen überein. Man kann die eine Grösse in die andere durch die blosse Aenderung des Vorzeichens überführen.

§. 195. Nennt man die verhältnissmässige Geschwindigkeit den Unterschied der Schnelligkeit, mit der sich die Flüssigkeit und der, mit welcher sich der ausserhalb befindliche feste Körper bewegt, so nimmt der Stoss derselben Flüssigkeitsmenge unter sonst gleichen Bedingungen mit der verhältnissmässigen Geschwindigkeit und bei gleichem Querschnitte des Strahles mit dem Quadrate der relativen Geschwindigkeit der ankommenden Flüssigkeit zu. Wirkt er senkrecht gegen eine ebene Fläche, so kann man ihn durch das Gewicht einer Flüssigkeitssäule derselben Art ausdrücken, die den Querschnitt des wirksamen Strahles zur Grundfläche und die doppelte Geschwindigkeitshöhe zur Höhe hat. Der hydraulische Druck ist also dann zwei Mal so gross als der hydrostatische. Hieraus folgt zugleich, dass der Stoss und der Widerstand einer Flüssigkeit mit der Eigenschwere derselben zunehmen. Der gleiche Werth gilt auch für den Rückstoss, die Reaction oder die Gegenwirkung eines hervortretenden Flüssigkeitsstrahles gegen den der Ausflussöffnung gegenüberliegenden Wandabschnitt des Behälters, der diesem eine der Auflussrichtung entgegengesetzte Bewegung zu geben sucht und ihm bei dem Segner'schen Rade, den anderen Reactionsmaschinen und den losgeschossenen Feuerwaffen in der That ertheilt[1]).

förmige Glasröhre und die gleichzeitige Oeffnung der beiden Eingänge zu derselben gestattet. Die Beschreibung und Abbildung der Durchbohrung findet sich in der dänischen Uebersetzung meiner Physiologie von A. Hannover. 1856. S. 132. Fig. 113. 114.

[1]) Liegt eine feste Behälterwand der Ausflussmündung gegenüber, so führt der Grundsatz der Gleichheit des Druckes (§. 15) zu der Folgerung, dass dieselbe Druck-

§. 196. Der Stoss gegen eine hohle Halbkugel, die den Strahl in entgegengesetzter Richtung zurückwirft, beträgt das Doppelte jenes Stosses gegen eine ebene Fläche unter sonst gleichen Nebenbedingungen. Stösst die Flüssigkeit gegen eine andere in einem ruhenden Durchflussrohre enthaltene, weil sie mit grösserer Geschwindigkeit als diese strömt, zu ihr in gleicher Richtung hinzutritt oder die ihr entsprechende Componente stärker ausfällt, so gleicht dieser Stoss von Flüssigkeit in Flüssigkeit der Reaction, mithin wiederum dem oben bestimmten senkrechten Stosse gegen die ebene Fläche. Er kann daher durch das Product der Grundfläche des Querschnittes des Strahles, der doppelten Geschwindigkeitshöhe desselben und die Eigenschwere der Flüssigkeit, die ihn zusammensetzt, ausgedrückt werden [1]).

§. 197. Umgibt ein Strom eine in ihm versenkte feste Masse allseitig, so nöthigt die dem Stoss unmittelbar ausgesetzte Fläche derselben, die wir die widerstehende nennen wollen, die Flüssigkeitstheilchen seitlich auszuweichen. Diese vereinigen sich dagegen hinter der gegenüberliegenden oder der begünstigenden Fläche, die DU BUAT mit dem Namen der Fläche des Nicht-Druckes bezeichnet. Die Ungleichheit der Wirkung hat zur Folge, dass ein grösserer hydraulischer Druck als der hydrostatische, nach dem Grundsatze der Gleichheit des Druckes (§. 15) bestimmte [2]) auf der

grösse, welche die Flüssigkeit zur Ausflussöffnung hervortreibt, auf den ihr gegenüberliegenden Theil der Wand wirkt und daher den Behälter in einer dem Ausflusse entgegengesetzten Richtung zu verschieben sucht, da die Unterbrechung der Wand an der Ausflussöffnung die sonst entgegengesetzte Bewegungsrichtung aufhebt. Nennt man q den Querschnitt der Ausflussöffnung, v die Geschwindigkeit und ϱ die Dichtigkeit der ausströmenden Flüssigkeit, so gleicht das Gewicht der in der Zeiteinheit austretenden Flüssigkeitssäule $qv\varrho$ und die auf dieses bezogene Grösse der Thätigkeit (§. 127) $qv^2\varrho$. Setzt man $v^2 = 2gh$, so erhält man $2ghq\varrho$ als Grösse der Reactionswirkung, d. h. sie wächst mit der Fläche der Ausflussöffnung, oder, wenn diese kreisförmig ist, mit dem Quadrate des Halbmessers, der Dichtigkeit und dem Quadrate der Geschwindigkeit, und entspricht dem Drucke einer gleichbeschaffenen Flüssigkeitssäule, die den Querschnitt zur Grundfläche und die doppelte Geschwindigkeitshöhe zur Höhe hat.

[1]) Die Herleitung dieser Sätze findet sich z. B. bei WEISSBACH, Experimental-Hydraulik. S. 227—241. Vgl. auch D'AUBUISSON a. a. O. S. 231—240 und KÜLP a. a. O. S. 361—363.

[2]) Wir haben schon §. 123. Anm. 2 gesehen, dass die Annahme einer unbedingt beweglichen Flüssigkeit, wie sie der Grundsatz der Gleichheit des Druckes voraussetzt, die hier vorliegende Aufgabe theoretisch nicht lösen kann. Nur die Berücksichtigung der inneren und der äusseren Reibung und der erzeugten Wirbel oder der nicht linearen Bewegung

widerstehenden Fläche oder in dem sogenannten Vorderwasser auftritt und ein kleinerer als jener hydrostatische an der begünstigenden Fläche, im Hinterwasser oder Kielwasser thätig ist.

überhaupt vermag von der im Texte erwähnten Ungleichheit des Druckes Rechenschaft zu geben. Man hat übrigens hier eine Reihe von Aufgaben, die ein vorherrschend mathematisches Interesse besitzen. Ausgezeichnete Analytiker beschäftigten sich mehrfach mit ihnen. Die Ergebnisse dieser Bemühungen führten aber nicht selten zu Widersprüchen mit den Folgerungen, welche einfachere Voraussetzungen ergeben, oder den Erscheinungen, die die Erfahrung liefert.

Newton, der einen grossen Theil des zweiten Buches seiner Principien den Untersuchungen der Bewegung in widerstehenden Mitteln gewidmet hat, zeigte zunächst, dass der Widerstand eines längs der Achse bewegten Cylinders doppelt so gross, als der einer Kugel von gleichem Durchmesser ist, wenn beide mit derselben Schnelligkeit fortschreiten und das Mittel aus gleichen und gleich entfernten Theilen besteht. (I. Newton, Philosophiae naturalis principia mathematica. Ed. Th. le Sueur et F. Jacquier. Genevae 1740. 4. p. 258. Lib. II. Prop. XXXIV. Theor. XXVIII.) Die weitere Ausführung führte ihn unter Anderem zu der schon §. 47 erwähnten Untersuchung des Rotationskörpers kleinsten Widerstandes a. a. O. p. 269. Der Widerstand einer Kugel, die sich in dem erwähnten Mittel gleichförmig bewegt, steht in quadratischem Verhältnisse des Durchmessers und der Geschwindigkeit und dem einfachen der Dichtigkeit des Mittels (a. a. O. p. 277 und andere theoretische Bestimmungen und Versuche p. 312—339).

Newton spricht schon aus, dass die Längenzunahme eines längs seiner Achse bewegten Cylinders den Widerstand nicht vergrössert, also immer nur die Querschnittsfläche in Betracht kommt, wenn man sich die Seitenflächen desselben unendlich glatt und die Zähigkeit und die Reibung der Flüssigkeit Null denkt. Adami (Specimen hydrodynamicum de resistentia corporum in fluidis motorum. Berolini 1752. 4. p. 13. 21. 25) kommt zu derselben Unabhängigkeit von der Achsenlänge eines jeden Körpers überhaupt, vorausgesetzt, dass die Bewegung weder beschleunigt noch verzögert ist und die Körperform die seiner Betrachtung zum Grunde gelegte Annahme nicht aufhebt, dass die Geschwindigkeit der Flüssigkeit in umgekehrtem Verhältnisse der Durchgangsräume bleibt. Man hat diese Ausnahme bei keinem Rotationskörper mit allmäligen Aenderungen der Krümmung der Oberflächen. Theoretische Bestimmungen des Widerstandes eines kugel- und eines spindelförmigen Körpers finden sich p. 27 u. p. 29, und eine Vervollständigung der Newton'schen Auffassung p. 28. 29.

Andere Betrachtungen suchten darzuthun, dass der Stoss, den die dem Strome entgegengesetzte Hälfte einer in der Flüssigkeit versenkten Kugel erleidet, dem Gewichte von zwei Drittheilen einer Säule derselben Flüssigkeit gleicht, die den grössten Querschnitt der Kugel zur Grundfläche und die Geschwindigkeitshöhe zur Höhe hat. Die Versuche von Eytelwein lieferten jedoch eine stärkere Triebkraft (Brandes, Gleichgewicht. Bd. II. S. 322—324).

Das Ergebniss, das Dirichlet (Berichte der Berliner Akad. 1852. S. 14. 16. 17) aus der Betrachtung der allgemeinen hydrodynamischen Gleichungen hergeleitet hat, erkennt den Einfluss der Geschwindigkeit nicht an. Befindet sich eine unbewegte starre Kugel in dem Innern einer unbegrenzten, gleichartigen und unzusammendrückbaren Flüssigkeit und wirkt auf sie eine beschleunigende Kraft, die beständig bleibt oder sich auch mit der Zeit ändert, so hängt der von der Flüssigkeit auf die Oberfläche des

Die zwei entgegengesetzten Einflüsse, die sich zu einer Gesammtwirkung summiren, hängen von dem Querschnitte des eingetauchten Theiles und der Geschwindigkeit des Stromes ab, wenn der Körper ruht oder der relativen Geschwindigkeit, wenn er sich in Bewegung befindet. Die Gestalt des versenkten Abschnittes, seine Anziehung zur Flüssigkeit und die innere und die äussere Reibung der letzeren bestimmen überdies den Enderfolg. Da die Theorie die Wirkungen dieser Bedingungsglieder mit Sicherheit nicht verfolgen kann, so sucht man ihren Gesammteinfluss in der Form einer Constanten, des Stosscoëfficienten oder des Gesammtwerthes des Stosswiderstandes auf dem Wege der Erfahrung zu ermitteln[1]).

---

festen Körpers ausgeübte Druck oder der Widerstand, den sie der Ortsverrückung entgegensetzt, der Theorie nach nur von der beschleunigenden Kraft und dem Verhältnisse der Dichtigkeit des starren Körpers zu der der Flüssigkeit, nicht aber von dem Durchmesser der Kugel und der Geschwindigkeit der Bewegung ab. Er hört bei dem Verschwinden der beschleunigenden Kraft auf.

R. Hoppe (Pogg. Ann. Bd. XCIII. 1854. S. 321—343) dehnte später diese Betrachtungen auf Körper aus, welche durch die Umdrehung einer ebenen Figur erzeugt worden und sich in der Richtung ihrer Achse bewegen, jedoch weder ringförmig, noch zu breit sind, keine zu grosse Vertiefungen oder keine scharfen Kanten besitzen, weil störende Stösse in allen diesen Fällen erzeugt werden. Der Widerstand nimmt mit der den Körper bewegenden Kraft zu, ist dagegen von der Geschwindigkeit unabhängig. Er bleibt bei proportionaler Aenderung der Durchmesser gleich und fällt mit dem Wechsel der Gestalt und der Dichtigkeitsverhältnisse der beiden Körper verschieden aus, vorausgesetzt, dass die Flüssigkeitstheilchen nur durch die Trägheit ihrer Masse auf einander und auf den festen Körper wirken (S. 322. 331. 332). Die Bahnen derselben in Verhältniss zu der des starren Körpers genommen, sind immer die gleichen für dieselbe Masse und die Geschwindigkeiten der des letzteren überall proportional. Hört die Kraft zu wirken auf, bewegt sich also der Körper geradlinig und gleichförmig, so schwindet der Widerstand. Die Geschwindigkeit wird beständig und man hat sogleich den Beharrungszustand des ganzen Systemes (S. 332). Alle diese Folgerungen lassen sich auch auf eine eingeschlossene Flüssigkeit von endlicher Grösse übertragen, wenn sich die Bewegung derselben nicht bis auf die Grenzen erstreckt. Diese hört aber immer in grosser Entfernung fast gänzlich auf.

Man muss sich hüten, diese Sätze unmittelbar zu verwerthen. Kann man auch einzelne hydraulische Erfahrungen zu Gunsten eines geringen Einflusses der Geschwindigkeit anführen, so fehlt doch der Widerstand in der Wirklichkeit nie, wenn auch keine beschleunigende Kraft thätig ist. Vgl. auch d'Alembert §. 139.

[1]) Nennt man den Flüssigkeitsstoss P, den Stosscoëfficienten Z, die Eigenschwere der Flüssigkeit γ, die Geschwindigkeit derselben c, die des eingetauchten Körpers v, also die relative Geschwindigkeit c — v, wenn die Bewegungsrichtungen der Flüssigkeit und des Körpers die gleichen sind und daher v das positive Vorzeichen hat, q den Querschnitt des Körpers und g die Beschleunigung der Schwerkraft, so erhält man:

$$P = Z\gamma q \frac{(c \mp v)^2}{2g} \qquad (58)$$

§. 198. Ein Körper bester Form oder, wie man es gewöhnlich ausdrückt, ein solcher geringsten Widerstandes wird das leichteste Dahingleiten der Flüssigkeitstheilchen längs seiner Oberfläche und in seiner Umgebung überhaupt gestatten, also auch die geringsten Wirbel erzeugen. Es wurde schon §. 47 bemerkt, dass NEWTON [1]) die Auflösung für den Fall eines Umdrehungskörpers gab, der in der Richtung seiner Drehungsachse fortschreitet, ohne den Weg, auf dem er zu ihr gelangte, zu bezeichnen. Der hieraus gezogene Schluss, dass er schon im Besitze der Principien der erst beinahe ein Jahrhundert später von LAGRANGE erfundenen und von EULER weiter ausgebildeten Variationsrechnung gewesen sei, ist nicht begründet [2]). Betrachtet man einen Körper, dessen Längendurchmesser grösser als jeder seiner Querdurchmesser ist, so scheint diejenige Gestalt desselben die günstigste zu sein, bei welcher der

---

Man muss hier das negative Zeichen wählen, wenn v positiv ist, und das positive, wenn v negativ, sich also der Körper entgegengesetzt wie die Flüssigkeit bewegt. Wird dann $v > c$, so geht der Stoss in Widerstand über.

Manche Hydrauliker drückten auch den Widerstand einer gleichförmigen geradlinigen Bewegung einer starren Masse nach dem Grundsatze der Uebertragung der Bewegung (§. 194), durch die schon §. 173 erläuterte Gleichung $w = k\,(\alpha v + \beta v^2)$ aus, indem sie nur auf die Aenderung der Zeichen Rücksicht nahmen. α sollte bloss von der Klebrigkeit abhängen und β der Dichtigkeit und den Quadraten der Durchmesser des festen Körpers proportional sein. HOPPE (a. a. O. S. 336) spricht sich gegen diese Auffassungsweise in Folge seiner Rechnungen aus und glaubt annehmen zu müssen, dass der Widerstand durch andere vorläufig unbekannte Ursachen, nicht aber durch solche, wie die gewöhnliche mechanische Erläuterungsweise angibt, erzeugt wird.

[1]) I. NEWTON, Philosophiae naturalis principia mathematica. Ed. III. Londini 1726. 4. p. 324. 325.

[2]) Die heutige Mathematik löst die Aufgabe am Einfachsten mit Hülfe der Variationsrechnung. Siehe z. B. die Herleitung bei LITTROW in Gehler's physikalischem Wörterbuche. Bd. X. Abth. II. S. 1732—1735 oder G. W. STRAUCH, Theorie und Anwendung des sogenannten Variationscalcüls. Bd. II. Zürich 1849. S. S. 399—400. Allein JOH. BERNOULLI versuchte schon, die Frage mit Hülfe der gewöhnlichen Differentialrechnung unter derselben Voraussetzung wie NEWTON zu beantworten und die Curve, deren Umdrehung den Rotationskörper des geringsten Widerstandes erzeugt, graphisch darzustellen. Er erhielt dieselbe Differentialgleichung, wie sie sich aus dem Texte von NEWTON ergibt. Siehe nun Acta Eruditorum 1699. p. 514—516. 1700. p. 208—214, JOH. BERNOULLII Opera T. I. p. 307—311 u. JOH. BERNOULLI in: Virorum celeberr. GOT. GUL. LEIBNITII et JOH. BERNOULLII Commercium philosophicum et mathematicum. Lausannae et Genevae 1745. 4. Tome I. p. 466—468. Ein klarer Beweis findet sich auch in: I. NEWTON, Principia. Perpetuis commentariis illustrata communi studio TH. LE SUEUR et J. JACQUIER. Tome II. Genevae 1740. 4. p. 269—271. Vgl. auch Fatio Phil. Trans. Vol. XXVIII. 1712. p. 173—76 und L. EULER, Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes. Lausannae 1744. 4. p. 51 und p. 198.

vorspringt und deren hinterer weit längerer Abschnitt spitz ausläuft[1]). Diese Bedingung ist im Allgemeinen in der Körperform der Fische, nicht aber in der vieler anderen Wasserthiere, die behend schwimmen, erfüllt. Der wagerechte Querschnitt des eingetauchten Theiles vieler Wasservögel und der Schiffe[2]) genügt ihr ebenfalls bis auf die Abweichung, dass der hinter der grössten Anschwellung liegende Abschnitt nicht bedeutend länger als der vor ihr befindliche ausfällt. BOSSUT[3]) bemerkte übrigens schon, dass der Widerstand in einem verhältnissmässig engen Canale grösser ausfällt und die Wirkung der Zähigkeit der Flüssigkeit unmerklich wird, wenn sich der Körper mit irgend bedeutender Schnelligkeit bewegt[4]).

§. 199. Enthält der Strom Körper, deren Eigenschwere grösser, als die der Flüssigkeit ist, so kann er diese nur dann fortführen, wenn das seinem Stosse entsprechende Gewicht dem um die verdrängte Flüssigkeitsmasse (§. 39) verminderten Gewichte der Körper gleicht[5]). Die Richtung des Stosses und die äusseren Hindernisse bestimmen es, ob die Bewegung gerade oder krummlinig, mit oder ohne Drehungen um constante oder nur augenblickliche Drehungsachsen fortschreitet. Gelangt der feste Körper in langsamer strömende Flüssigkeitsschichten oder in solche grösseren Widerstandes, so kann sich nicht bloss die Geschwindigkeit, sondern auch die Drehungsart ändern. Wir werden sehen, dass auf diese Weise der Ortswechsel der Blut- und der Lymphkörperchen in den Haargefässen der Thiere oft genug verräth, wie sich die Stromverhältnisse in den

[1]) ST. VENANT, Die Fortschritte der Physik im Jahre 1846. Berlin 1848. S. S. 70.

[2]) Die Versuche von D'ALEMBERT, CONDORCET und BOSSUT über den Einfluss der Form derselben finden sich bei BOSSUT a. a. O. Tome II. p. 304—323. Vergl. auch D'AUBUISSON a. a. O. S. 255. 256.

[3]) BOSSUT a. a. O. Tome II. p. 374. 375.

[4]) BOSSUT, ebendas. p. 345.

[5]) Es sei m das Gewicht des festen Körpers, u sein Rauminhalt und s seine Eigenschwere, γ dagegen die der Flüssigkeit. Man hat also $m = us$ im leeren Raume oder gewöhnlich in der Luft und $m' = u(s - \gamma)$ in der Flüssigkeit. Denkt man sich den Rauminhalt u als einen Cylinder von dem Querschnitt q und der Höhe h', so wird $q = \frac{u}{h'}$. Die Grenze der Beweglichkeit des Körpers muss für $P = m'$ eintreten. Die Gleichung (58) gibt hiernach:

$$Z = \frac{2gh'\left(\frac{s}{\gamma} - 1\right)}{(c \mp v)^2} \tag{59}$$

Hat der Körper dieselbe Eigenschwere wie die Flüssigkeit, so wird der Stosscoëfficient Null. Er erhält einen negativen Werth, wenn die Masse leichter als die Flüssigkeit ist.

einzelnen Bezirken der durchgehenden Blutmasse gestalten. Unbewegliche feste Körper, die krankhafter Weise abgelagert worden, erzeugen bestimmte von ihrer Form abhängige Ablenkungscurven, die sich in vieler Hinsicht ähnlich wie Wellen verhalten[1]).

§. 200. Gehen wir nun zu dem Durchtritte tropfbarer Flüssigkeiten durch elastische Röhren über, so begegnen wir hier zunächst der schon §. 141 erwähnten in dem Nachlasse von EULER[2]) gefundenen Abhandlung aus dem Jahre 1775, deren Anfangstheil jedoch mangelt, so dass man die Bedeutung der in den Formeln vorkommenden Buchstaben aus dem Sinne des vorhandenen Bruchstückes ergänzen muss[3]). EULER gibt hier zwei differentielle Ausgangsgleichungen und stellt zwei willkürlich bestimmte Beziehungen zwischen dem Drucke, der grössten und der eben vorhandenen Weite und der elastischen Ausdehnung des Rohres auf, von denen die zweite einen einfacheren Ausdruck in einer der Grundgleichungen liefert als die erste[4]). Er wendet zunächst seine Formeln auf

---

[1]) PONCELET (FECHNER's Repertorium der Experimentalphysik. Bd. I. Leipzig 1832. 8. S. 101—104) und SAINT-VENANT (Die Fortschritte der Physik im J. 1854. Berlin 1857. 8. S. 171) beschäftigten sich schon mit der ähnlichen Frage, welche Veränderungen die in strömendem Wasser eingetauchten festen Körper, also auch die in ihnen vorkommenden Pflanzen bedingen. PONCELET hob dabei hervor, dass sich die parabolischen Erhebungen der Oberfläche, welche die Spitze eines eingetauchten Stäbchens erzeugt, ähnlich wie die Wasserwellen verhalten, also nur von einer Formeigenthümlichkeit und nicht von einer besonderen Strömung herrühren. Die einzelnen Curven kreuzen sich, ohne sich gegenseitig zu stören. Sie nehmen an Zahl, Grösse und Kleinheit ihres Abstandes zu, wenn die Geschwindigkeit des Wassers wächst, und scheinen im Wesentlichen mit denen übereinzustimmen, die durch das Hinstreichen einer Spitze über die Oberfläche einer ruhenden Wassermasse entstehen. Man wird übrigens die Verhältnisse hier wie bei den thierischen Gefässen am Richtigsten beurtheilen, wenn man von dem Stosse ausgeht, den die Einzelform des widerstehenden Körpers von der strömenden Flüssigkeit erfährt. Schon ST. VENANT befolgte diesen Grundsatz.

[2]) L. EULER, Principia pro motu sanguinis per arterias determinando. Opera postuma mathematica et physica. Tome II. Petropoli 1862. 4. p. 814—823. Die ersten 14 von den 43 Paragraphen der Arbeit sind verloren gegangen.

[3]) Um dem Leser diese Mühe zu ersparen, füge ich die Bedeutung der Buchstaben, wie ich sie enträthselt zu haben glaube, hinzu. s ist die gegebene und Σ die grösstmögliche Weite der elastischen Röhre, t die Zeit, v die Geschwindigkeit der Flüssigkeit, p der Druck, z das variable Längenstück der Flüssigkeitssäule, das in Betracht gezogen wird, c die Dehnungsconstante (Elasticitätsmodul) und g die Beschleunigung der Schwerkraft. Für starre Röhren wird natürlich $s = \Sigma$ und $c = 0$.

[4]) Die erste Beziehung ist $s = \frac{\Sigma p}{c + p}$ und die zweite vorgezogene $s = \Sigma\left(1 - e^{-\frac{p}{c}}\right)$, wobei e die Basis der natürlichen Logarithmen.

starre Röhren, die an einzelnen Stellen ungleich weit und auf solche, die cylindrisch sind, an und behandelt zuletzt die elastischen Röhren in ähnlicher Weise. Er untersucht, wie sich die Verhältnisse gestalten, wenn der Stempel einer cylindrischen Spritze Flüssigkeit in ein cylindrisches elastisches Rohr treibt und stellt die entsprechende Gleichung [1]) der lebendigen Kraft auf, in welcher der von dem Stempel durchlaufene Raum nur als eine Function des Druckes und der Geschwindigkeit desselben, die grösste Weite der Röhre nur als eine solche der Länge der in ihr fortgeschobenen Flüssigkeitssäule und noch zwei andere Functionen vorkommen, die von dem von dem Stempel durchlaufenen Wege und der Länge der sich bewegenden Flüssigkeitsmasse des Rohres zugleich abhängen. Indem er die Thätigkeit des Herzens mit der eines solchen Stempels vergleicht, glaubt er voraussetzen zu müssen, dass der Beginn eines jeden neuen Herzschlages genau dieselben Bedingungen antrifft, wie der vorhergehende, dass also die Gleichungswerthe unverändert bleiben, der von dem Stempel durchsetzte Weg möge Null sein oder seinen grössten durch die Nebenbedingungen bestimmten Werth erreicht haben, dass also hier periodische mathemathische Ausdrücke auftreten müssen. Da sich aber die Beziehungen der Geschwindigkeit zu dem durchlaufenen Raume des ideellen Stempels nur dann feststellen liessen, wenn man den Druck am Ende des Arteriensystems und die Länge desselben kennen würde, so hielt Euler [2]) die Anwendung auf die Kreislaufsverhältnisse für eine Aufgabe, deren Lösung die Kräfte des Menschen übersteigt.

§. 201. Th. Young hat eine Reihe theoretischer Untersuchungen und einzelne Beobachtungen aus dem Gebiete der Hydraulik angestellt, um sie auf die Verhältnisse des Blutlaufes anzuwenden. Die erste physikalische Arbeit [3]), deren dunkele Darstellungsweise, wie die vieler anderen Abhandlungen dieses tiefsinnigen Forschers, das Verständniss derselben wesentlich erschwert, geht von dem Gedanken aus, dass man die Schlussfolge, nach der man die Fort-

---

[1]) Euler a. a. O. p. 822.

[2]) Er fügt (p. 823) charakteristisch hinzu: In motu sanguinis explicando easdem offendimus insuperabiles difficultates, quae nos impediunt, omnia plane opera Creatoris accuratius perscrutari; ubi perpetuo multo magis summam sapientiam cum omnipotentia conjunctam admirari ac venerari debemus, cum ne summum quidem ingenium humanum vel levissimae vibrillae veram structuram percipere atque explicare valeat.

[3]) Th. Young, Hydraulic Investigations. Phil. Transact. 1808. P. II. London 1808. 4. p. 164—186.

pflanzungsgeschwindigkeit der Wellen in einem elastischen, festen oder flüssigen Körper bestimmt, auch auf ein mit elastischen Wänden versehenes Rohr, das eine unzusammendrückbare Flüssigkeit enthält, übertragen darf. Ist dieses so beschaffen, dass die durch die Dehnung erzeugte Umfangsvergrösserung in gleichem Verhältnisse der Spannung oder der elastischen Kraft zunimmt, so lasse sich zeigen, dass es einen endlichen Werth einer denkbaren Druckhöhe gibt, die eine unendlich grosse Ausdehnung zur Folge haben müsste. Die dem Elasticitätsmodul entsprechende Druckhöhe, deren Säule YOUNG [1]) die Modularsäule nennt, gleicht der Hälfte der Höhe über der Basis jener denkbaren Drucksäule. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle in jedem Punkte eines elastischen Rohres von der angenommenen Beschaffenheit ist halb so gross als die Schnelligkeit eines Körpers, der von der Höhe des Punktes bis auf die Grundfläche der Modularsäule im luftleeren Raume herabgefallen wäre, wenn das Rohr senkrecht stände. Läge es schief, so würde sich die Geschwindigkeit auf die eines Körpers zurückführen lassen, der auf einer geneigten Ebene vermöge seiner Schwere hinuntergleitet [2]). Man kann auch die Schnelligkeit der Welle oder eines Pulses nahezu der Geschwindigkeit gleich setzen, die ein Körper durch den Fall im luftleeren Raume erlangen würde, wenn die Fallhöhe der halben Druckhöhe der in dem elastischen Rohre enthaltenen Flüssigkeit gliche [3]).

Geht ein Stoss durch eine kegelförmig sich erweiternde Pfeife oder divergirt seine Wirkung von einem Mittelpunkte aus mit gleicher Geschwindigkeit nach allen Seiten, so stehen die Schnelligkeiten der einzelnen in Bewegung gesetzten Theilchen der elastischen Flüssigkeit in umgekehrtem quadratischen Verhältnisse der Zahl derer, die in Unruhe versetzt werden, und in umgekehrtem geraden der Entfernung von dem Anfangspunkte der Erschütterung. Man kann diese Norm auf ein elastisches Rohr der früher erwähnten Art ebenfalls übertragen [4]).

YOUNG untersuchte endlich noch die Wellenbewegung in einer strömenden Flüssigkeit, weil etwas Aehnliches bei der Blutbewegung vorkommt. Wir dürfen nämlich nicht vergessen, dass eine Welle

---

1) YOUNG, ebendas. p. 176.

2) p. 177.

3) Also $v = \sqrt{gh}$.

4) YOUNG, ebendas. p. 179. 180.

keiner Strömung der Masse, sondern nur einer fortbewegten Form entspricht. Man hat also in dem Blutlaufe, der die Schlagadern durchsetzt, das Zusammenwirken eines die Flüssigkeitstheilchen weiter führenden Stromes und einer die Form forttragenden Wellenbewegung. YOUNG vergleicht auch dieses in seiner zweiten Abhandlung [1]) mit den Wasserwellen, die in einem Strome oder den Tonwellen, die im Winde fortschreiten [2]). Diese Arbeit, die wiederum zuerst nach WEITBRECHT und HALES den Gedanken klar ausspricht, dass die Hauptwiderstände des Blutlaufes in den Haargefässen liegen, enthält auch einige Versuchsergebnisse über den Durchgang von Wasser, Milch oder Zuckerlösung durch gläserne Haarröhren [3]).

§. 202. Nachdem VOLKMANN [4]) Versuche über die Bewegung von Flüssigkeiten durch elastische Röhren unter periodischen Druckverstärkungen angestellt hatte, veröffentlichte E. H. WEBER [5]), der die physikalische Wellenlehre mit WILH. WEBER begründet hat, seine über jenen Gegenstand mit TH. WEBER gemachten Beobachtungen und entwickelte dabei eine Reihe von Grundansichten, welche die Ausgangspunkte der gegenwärtigen über die Thätigkeit der lebenden elastischen Röhren herrschenden physiologischen Ansichten bilden. Er fand wesentlich dieselbe Fortpflanzungsgeschwindigkeit, nämlich eine Secundenschnelligkeit von 11,4 bis 12,8 Meter für ein mit Wasser gefülltes Kautschukrohr von 4 Mm. Wanddicke und 27,5 Mm. Durchmesser im Lichten unter den verschiedensten Verhältnissen. Sie blieb, wie es schien, unverändert, die fortschreitende Welle mochte eine positive, eine Berg- oder eine Spannungswelle oder eine negative, eine Thal- oder eine Erschlaffungswelle sein, sie mochte durch eine vollständige oder eine theilweise, eine rasche oder eine langsame Zusammendrückung eines grossen oder eines kleinen Röhrenabschnittes erzeugt werden. Der verschiedene Werth ihrer lebendigen Kraft übt also keinen sichtlichen Einfluss aus. Eine 437 Mal so grosse Spannung, als eine solche von 8 Millimetern Wasserdruck verlangsamte die Fortpflanzungsgeschwin-

---

1) YOUNG, On the Functions of the Heart and Arteries. Phil. Transact. 1809. P. I. London 1809. 4. p. 1—31.

2) YOUNG, ebendas. p. 11.

3) YOUNG, ebendas. p. 7.

4) VOLKMANN, Haemodynamik. S. 80—128.

5) E. H. WEBER, Müller's Arch. 1851. S. 497—546. Die S. 500 u. 512 erwähnte Theorie der durch Wasser in elastischen Röhren fortgepflanzten Wellen von WILH. WEBER scheint nirgends veröffentlicht worden zu sein.

digkeit um ungefähr $^1/_8$ ihres Werthes. Die elastische Längenvergrösserung der Röhre betrug nahezu $^1/_6$ der Zunahme des Durchmessers. Weitere Röhren müssten eine grössere Fortpflanzungsgeschwindigkeit als engere nach der Theorie von WILH. WEBER geben. Die Wellenbewegung schwand bei starker Röhrenspannung früher als bei schwacher. Wurde eine positive Welle durch den Druck erzeugt, so bildete sich hinter ihr keine neue negative ohne besondere Ursache [1]).

§. 203. Röhren, die dehnbar sind, einen kleinen Elasticitätsmodul besitzen und sich erst bei der Füllung entfalten, wie z. B. ein Wasser enthaltendes Dünndarmstück, lieferten WEBER [2]) wesentlich andere Ergebnisse. Der durch eine niedere oder höhere Wassersäule erzeugte Spannungswechsel übte hier einen grossen Einfluss auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der positiven sowohl als der negativen Wellen aus. Die Thalwellen theilten sich merklich langsamer als die Bergwellen mit, sie mochten durch einen vollständigen oder einen unvollkommenen Verschluss eines Röhrenstückes erzeugt worden sein. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit änderte sich in dem schwach gespannten Darme mit der lebendigen Kraft, also je nachdem man eine grössere oder eine kleinere Röhrenstrecke, mit stärker oder schwächer, schneller oder langsamer zusammengedrückt hatte. Nahm die Welle bei ihrem weiteren Fortschreiten in Folge der Reibung ab, so wurde sie hier länger und schritt zugleich langsamer weiter.

§. 204. Wir haben schon §. 35 gesehen, dass ein gleichförmig elastisches Rohr kreisförmige Querschnitte im Ruhezustande darbietet. Dasselbe muss sich wiederholen, wenn es durch eine Flüssigkeit, die nach allen Seiten hin gleich drückt, ausgedehnt wird. Ein elastisches Rohr würde sich wie ein starres verhalten, wenn sich die in ihm enthaltene Flüssigkeitssäule widerstandslos verschieben liesse und in jedem Augenblicke zur Einflussmündung eben so viel einträte, als zur Ausflussöffnung davongeht. Ein wesentlicher Unterschied greift aber sonst in beiden Arten von Röhren durch. Denkt man sich die Röhrenwand eben so unnachgiebig, als die Flüssigkeit unzusammendrückbar, so wird jeder ihrer neu eintretenden Querschnitte von endlicher Länge die gesammte vorliegende Flüssig-

---

1) E. H. WEBER, ebendas. S. 517—519.
2) E. H. WEBER a. a. O. S. 521—523.

keit verschieben, wenn keine Widerstände entgegenwirken, und daher einen gleichwerthigen Querschnitt von Flüssigkeit zur Ausflussöffnung nach einer unmerklich kleinen Zeit selbst bei grösster Länge des Rohres heraustreten lassen. Sind dagegen die Wandungen dehnbar oder elastisch, so erzeugt der Widerstand der vorliegenden Flüssigkeitsmasse eine gewisse Spannung (§. 151), die sich auch seitlich als Druck fortpflanzt und die Wände ausdehnt. Der Querschnitt der eintretenden Flüssigkeitssäule vergrössert sich daher auf Kosten der Länge derselben. Da die erste fortgestossene Flüssigkeitsschicht einem Widerstand an der zweiten begegnet, so wiederholt sich an ihr das Gleiche, nur in geringerem Maasse als an der eingetriebenen. Indem dieses in gleicher Weise abnehmend fortgeht, bildet sich an dem Anfangstheile der Röhre eine Erweiterung, die von der Einflussmündung aus allmälig kleiner wird. Da sie aber mehr Flüssigkeit aufnimmt, als dem Gleichgewichtszustande des Rohres enspricht, so kann nicht die ganze eingetriebene Flüssigkeitsmenge gleichzeitig oder nach einer verschwindend kleinen Zeit zur Abflussmündung austreten. Die Ausgleichung erfolgt frühestens erst am Ende der Zeitgrösse, welche die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle längs der Länge des Rohres fordert.

§. 205. Dieser Unterschied führt zu zwei Folgerungen, die wichtige Uebertragungen auf den lebenden Körper gestatten. Die unzusammendrückbare Flüssigkeitsmenge, die in ein gefülltes starres Rohr eingetrieben wird, drängt sogleich eine an Volumen gleiche Menge zur Ausflussöffnung hervor, sofern nicht die Widerstände die unmittelbare Verschiebung hindern. Ein dehnbares oder elastisches Rohr liefert im ersten Augenblicke weniger als eingetreten ist und führt den Rest während der nachfolgenden Ruhezeit aus. Treibt man die unzusammendrückbare Flüssigkeit durch eine Reihe periodischer Stösse in das starre Rohr ein, so ahmt der Ausfluss die Stossperioden unter der oben erwähnten Nebenbedingung getreu nach. Ein elastisches Rohr gibt noch einen Ausfluss, nachdem der Stoss aufgehört hat. Man kann daher eine anhaltende und nur periodisch verstärkte Flüssigkeitsbewegung erzeugen, wenn man die zwischen je zwei Stössen liegenden Pausen kurz genug wählt. Der zweite Stoss findet eine ruhende Flüssigkeitsmasse in dem starren Rohre, wenn keine Wirbel und keine Nachwirkungen von Widerständen eingreifen. Er kann dagegen eine noch in Bewegung begriffene Flüssigkeit in einem elastischen Rohre antreffen und so einem geringeren Hindernisse seiner Wirkung begegnen, wenn die

Flüssigkeitstheilchen sich ihrer Trägheit gemäss in derselben Richtung fortzubewegen streben.

§. 206. Das elastische Rohr zeigt noch eine Rückwirkung, die dem starren mangelt. Denken wir uns, ein früherer Druck habe schon einen zweiten hinter der Einflussmündung liegenden Querschnitt erweitert und ein folgender wirke von Neuem auf einen ersten Querschnitt, so wird die als vollkommen elastisch gedachte Wand des zweiten Querschnittes mit derselben Kraftgrösse, mit der sie gedehnt worden, zu ihrer früheren Lage zurückzukommen suchen. Der Druck, den sie auf den ihr entsprechenden Flüssigkeitsquerschnitt ausübt, pflanzt sich nach beiden Seiten hin fort und erzeugt, wie wir es nennen wollen, eine positive Rückwirkungsbeschleunigung für den folgenden und eine negative für den vorhergehenden Querschnitt des flüssigen Inhaltes. Die letztere liefert also für die Flüssigkeit des ersten Querschnittes eine Kraft, die dem weiteren Fortschritte längs der Achse des Rohres Widerstand leistet und daher die Querschnittsvergrösserung begünstigt. Der Druck, der den ersten Querschnitt unter diesen Verhältnissen vergrössert, gleicht daher der Summe des von der neuen Einflussmenge erzeugten und des von der negativen Rückwirkungsbeschleunigung herrührenden Wanddruckes.

§. 207. Wir wollen uns in allen nun zu betrachtenden Fällen vorstellen, das Rohr behalte immer mindestens so viel Flüssigkeit zurück, dass die Wände in einem gewissen Grade gespannt bleiben. Ueberschreitet dann nicht die elastische Ausdehnung, die jeder Querschnitt durch die neu eingetriebene Flüssigkeit erleidet, die Grenzen der vollkommenen Elasticität und ist die elastische Nachwirkung vollendet, ehe wiederum Flüssigkeit eingeführt wird, so kommt das Rohr genau auf seinen ursprünglichen Durchmesser zurück, so wie sich die früher eingetretene Flüssigkeitsmenge entleert hat. Die Gestaltveränderung oder die Wellenform bildet dann eine periodische Function, die sich daher durch einen mit mathematischen periodischen z. B. trigonometrischen Functionen versehenen Ausdruck darstellen lässt. Dieses ist aber nicht mehr möglich, wenn eine neue Druckwirkung eingreift, ehe das Rohr zu seiner frühern Gestalt zurückgekommen ist, und dabei der Zustand des Rohres von einem Male zum andern wechselt. Man hätte dieses z. B. bei Drucken, die nach ungleichen und kleineren Pausen, als die elastische Rückkehr fordert, eingreifen, bei einer sehr lange anhaltenden elastischen Nachwirkung, bei dehnbaren, aber wenig

elastischen Röhren, deren Elasticität, wie dieses im lebenden Körper vorkommen kann, rasch wechselt, und endlich bei variabeln Ausflusshindernissen, die eine vollständige Entleerung der früher eingetriebenen Flüssigkeitsmassen unmöglich machen, ehe eine abermalige überschüssige Menge derselben hinzukommt.

§. 208. Wir haben schon §. 204 gefunden, dass man, abgesehen von der Uebergangsstelle des Rohres in den Druckbehälter, die hintere Hälfte eines Wellenberges in einer überall gleichförmigen und vollkommen elastischen Röhre erhält, wenn der Druck gleich bleibt oder, richtiger gesagt, wenn eine gleich grosse Flüssigkeitsmenge in jedem gleichen Zeittheilchen eindringt. Nimmt diese allmälig zu, so vergrössert sich hierdurch das Erhebungsmaximum der Curve des Längendurchschnittes der auch dann auftretenden hinteren halben Bergwelle, und zwar in Folge der negativen Rückwirkungsbeschleunigung mehr als ohne sie, wenn sie nicht durch den grössern Bewegungsdruck in der Richtung der Längsachse des Rohres vollkommen unwirksam wird. Steigert sich endlich allmälig die Druckgrösse in einem ersten Zeitabschnitte zu einem Maximum und geht sie in einem zweiten eben so stetig auf Null herunter, so erhält man eine vollständige Welle, deren vordere Hälfte aber nicht congruent der hinteren ist, weil der negative Theil der hier immer vorhandenen Rückwirkungsbeschleunigung die Erhebung der vorderen Wellenhälfte vergrössert und der positive dieselbe in der hinteren verkleinert, sofern nicht ausserordentliche Widerstände diesen Einfluss hindern.

Hört der Druck auf, so sucht die Welle nach beiden Seiten hin abzulaufen, weil der Druck, der einen ausgedehnten Röhrenquerschnitt zu seiner alten Grösse zurückzuführen strebt, mittelst der Flüssigkeit allseitig wirkt. Ist nun der Durchgang von dieser durch die Einflussöffnung aus irgend einem Grunde gehindert, so kann sich nicht die hintere halbe Bergwelle, die bei gleichförmigem oder bei allmälig zunehmendem Eintritte von Flüssigkeit entstanden war, rückwärts verbreiten. Sie erzeugt aber allmälig eine vollständige Bergwelle, deren Anfangspunkt zuletzt an dem Anfange des Rohres, abgesehen von der Uebergangsstelle, liegt. Die vordere halbe Bergwelle, welche die allmälig abnehmende Eintrittsflüssigkeit hervorrief, führt bei dem Ablaufen zu einem fortschreitenden Wellenzuge, der in der Richtung des Stromes abläuft. Die hintere, die eine steigende Druckwirkung bedingt, gibt überdies noch einen rückgehenden Wellenzug, der sich hier zuerst auf eine

hintere halbe Bergwelle beschränkt und sich allmälig in einen in der Stromesrichtung nacheilenden Wellenzug verwandelt. Hat endlich die allmälige Zunahme der Menge der eingetriebenen Flüssigkeit in einem ersten Zeitabschnitte und die stete Abnahme in einem zweiten eine vollständige Erhebungswelle erzeugt, so kann man sich die Verhältnisse so zerlegt denken, als rühre der fortschreitende Wellenzug von der hinteren und der rückgehende und der nacheilende von der vorderen Wellenhälfte her. Der letztere gewinnt hier einen grösseren Spielraum, als in dem Falle der nur steigenden Druckwirkung. Es versteht sich von selbst, dass jede fortschreitende Welle eine rückgehende zu erzeugen sucht und daher eine nacheilende zur Folge haben wird, wenn nicht die Hindernisse die Erhebungen derselben unmerklich machen.

§. 209. Verzweigt sich ein elastisches mit Flüssigkeit gefülltes Röhrensystem zu wiederholten Malen, so dass die Gesammtsumme der Querprofile seines Flussbettes fortwährend zunimmt, so vereinigen sich mehrere Umstände, die Wellenhöhen im Verlaufe immer mehr zu erniedrigen. Da der Querschnitt wächst und sich das Material der Röhrenwand mit ihm vergrössert, so müssen schon die Erhebungen im Laufe der Vertheilung abnehmen. Die lebendige Kraft des sie erzeugenden Stosses entspricht dem Producte der Masse und des Quadrates der Geschwindigkeit. Die Wellenhöhe müsste bei vollkommen gleichbleibendem Elasticitätsmodul und unveränderlicher Dichtigkeit in gleichem Verhältnisse der Entfernung sinken, wenn die Masse in gleichem Verhältnisse mit ihr zunähme. Wir werden sehen, dass keine dieser drei Bedingungen in den Schlagadern unseres Körpers erfüllt ist. Die Wellenhöhen können sich daher auch nicht einzig und allein den Entfernungen proportional verkleinern. Sie werden ausserdem nach Maassgabe des Druckverlustes, den die Reibungen vorher erzeugt haben, sinken. Da aber das Verhältniss der Wandfläche zu dem Hohlraume in einem engen Rohre grösser als in einem weiten ausfällt (§. 59), so stossen sie auch desshalb auf um so ungünstigere Bedingungen, je mehr sich die Aeste im Verlaufe der Verzweigung verfeinern. Wir werden sehen, dass die ausserordentliche Glätte der Innenhaut der Schlagadern die Gleitungswiderstände in hohem Grade herabsetzt. Dieses erklärt es, wesshalb man die Wellenerhebung selbst noch in Arterien von einem halben Millimeter Durchmesser erkennen kann.

§. 210. Die Theorie der Elasticität führt zu dem schon von Newton gefundenen Satze, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit

der Unruhe in einem elastischen Mittel der Quadratwurzel des Quotienten des Elasticitätsmoduls und der Dichtigkeit gleicht.[1]) Sie wird also auch mit diesen beiden Bedingungsgliedern in den elastischen Röhren wechseln. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit muss sich verlangsamen, wenn die Dehnung die Grenze überschreitet, innerhalb derer die Masse vollkommen elastisch bleibt oder diese unter dem gegebenen Einflusse nur dehnbar ist und nicht genügend elastisch rückwirkt (§. 59). Eine Druckverstärkung kann daher die Schnelligkeit in jenem Falle noch mehr herabsetzen, in diesem dagegen möglicherweise erhöhen. Dieses tritt in den organischen Geweben um so leichter ein, als sich die meisten nicht in gleichem Verhältnisse der Drucke dehnen, wenn diese eine irgend bedeutende Grösse erreichen. Dazu kommt noch der störende, theoretisch nicht zu bestimmende Einfluss der Verzweigungen, Schlängelungen und Anheftungen an mehr oder weniger widerstehende Nachbartheile, so wie die Aenderungen, welche das Verkürzungsvermögen in den Schlagadern erzeugen kann.

§. 211. Die Pulswellen einer mit Flüssigkeit gefüllten und in jeder Hinsicht gleichartigen elastischen Röhre unterscheiden sich in wesentlicher Weise von den Schwingungen einer elastischen Saite. Bewegt sich diese hin und her, so begegnet sie demselben widerstehenden Mittel bei allen ihren Ausschlägen, diese mögen als Wellenberge oder als Wellenthäler in Bezug auf die Ruhelage erscheinen. Die elastische Röhre dagegen hat die eingeschlossene Flüssigkeit, deren Spannung der Bewegung der Wände entgegentritt, an einer und die sie selbst umgebende Masse an der anderen Seite.

---

[1]) Nennt man mit NEUMANN die negative oder die positive Dilatation die Annäherung oder Entfernung der Molecüle eines elastischen Mittels in Folge von Druck- oder Spannungswirkungen, so kann man diese durch das theilweise Differential $\frac{d\varphi(\varrho)}{d\varrho}$ ausdrücken, wenn ϱ die gegenseitige Entfernung der Molecüle und $\varphi(\varrho)$ die Function dieses Abstandes ist, von der die Grösse der Verrückung abhängt. Ist D der Druck, den man anwenden müsste, um den verrückten Theil in seiner Lage zu erhalten, so entspricht $D : \frac{d\varphi(\varrho)}{d\varrho}$ dem Elasticitätsmodul e. Nennt man aber die Dichtigkeit der elastischen Masse d, so kann man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit v durch $v = \sqrt{\frac{e}{d}}$ theoretisch ausdrücken. Passt z. B. dieser Ausdruck nicht auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schallwellen in der Luft, so rührt dieses davon her, dass man Nebenbedingungen, wie z. B. die Wärmeänderungen in Folge der Verdichtungs- oder Verdünnungswellen ausserdem noch berücksichtigen muss.

Werden die Wellen durch periodische Stösse, welche die Flüssigkeit treffen, erzeugt und kann diese austreten, so wirken die fortschreitende Bewegung der Flüssigkeit und die ablaufende Gestaltänderung, die wir den Wellenzug nennen, gleichzeitig ein. Nur die letztere ist aber bei der gespannten Saite thätig. Die grösste Ausweichung oder die Amplitude und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle hängen daher von der Stärke des Anstosses, der die Saite getroffen hat, unter sonst gleichen Verhältnissen ab. Sie ändern sich dagegen nicht bloss mit dem Wechsel der Spannungsunterschiede je zweier benachbarter Querschnitte des elastischen Rohres, sondern auch mit der selbstständigen Einwirkung der strömenden Flüssigkeit auf die angrenzenden Wandbezirke.

§. 212. Die mathematische Untersuchung des Durchganges einer zusammendrückbaren Flüssigkeit durch eine dehnbare Röhre würde den allgemeinsten Fall bilden, aus dem sich die Strömung einer tropfbaren Masse in einer elastischen Röhre durch Nullsetzen der Variation der Dichtigkeit und die in einer starren Röhre durch Nullsetzen der Variation des Röhrendurchmessers ableiten liesse. Man hat bis jetzt noch keine Arbeit, welche von diesem Standpunkte ausginge. Die wichtigste hierher gehörende mathematische Untersuchung, deren Formeln von den Technikern unverändert oder mit blossen Nebenänderungen gebraucht werden, rührt von NAVIER [1]) her. Er behandelt den Austritt elastischer Flüssigkeiten aus Behältern und den Durchfluss derselben durch starre Leitungsröhren. Die Betrachtung bezieht sich auf den Beharrungszustand der sich bewegenden Flüssigkeit (§. 176). Sie setzt zunächst den Parallelismus der Schichten (§. 12) und die Gleichheit des Druckunterschiedes über der Flüssigkeit im Behälter und vor der Ausflussöffnung während der ganzen Strömungsdauer voraus, und nimmt die Achse des Behälters und der Ausflussöffnung wagerecht an, um den Einfluss der Schwere auf die Bewegung der einzelnen Schichten vernachlässigen zu können [2]). Die Dichtigkeit wird, wie gewöhnlich, als eine Function des Druckes nach dem Mariotte'schen Gesetze (§. 10) angesehen und daher als der Quotient des Druckes und einer Constante betrachtet, so lange die Wärme unverändert bleibt.

---

[1]) NAVIER, Mém. de l'Institut. Tome IX. 1830. 4. p. 311—378. Ein ausführlicher Auszug der Arbeit findet sich in G. Th. Fechner's Repertorium der Experimentalphysik. Bd. I. Leipzig 1832. 8. S. 171—173.

[2]) NAVIER a. a. O. p. 317. 318.

Die hiernach gewonnene Geschwindigkeitsgleichung eines Gases aus der Ausflussöffnung eines Behälters [1]) bietet wiederum (§. 158) den Uebelstand dar, dass die Schnelligkeit unendlich wird, so wie das Gas in den leeren Raum übertritt und imaginär, wenn die Ausflussöffnung grösser als der in Betracht gezogene Querschnitt des Behälters ist. Man hat auch hier die theoretische Geschwindigkeit mit einem Schnelligkeitscoëfficienten zu vervielfältigen, um der Venenzusammenziehung und den anderen Störungen Rechnung zu tragen [2]). Nachdem hierauf NAVIER die Fälle, in denen sich eine durchbrochene Scheidewand im Druckbehälter befindet [3]) oder cylindrische oder conische Ansätze an der Ausflussöffnung angebracht sind [4]) oder das Gas aus einem Behälter in einen anderen durch eine kleine Oeffnung übergeht, untersucht hat [5]), erläutert er den Austritt der Luft aus langen Röhrenleitungen.

---

[1]). Nennt man v die Ausflussgeschwindigkeit, k die Constante, die mit der Dichtigkeit des Gases vervielfältigt den Druck, unter dem es steht, gibt, p den Druck, der auf das Gasniveau im Behälter und p'' den, der auf die Ausflussöffnung wirkt, endlich q den in Betracht zu ziehenden Querschnitt des Gasbehälters und q'' den der Ausflussöffnung, so findet NAVIER (a. a. O. p. 321) und leitet wiederum später (p. 336) aus dem Grundsatze der Erhaltung der lebendigen Kräfte her:

$$v = \sqrt{\left(\frac{2k \log . \frac{p}{p''}}{1 - \frac{p''^2 q''^2}{p^2 q^2}}\right)} \tag{60}$$

v wird also imaginär, wenn $pq < p''q''$. (Vgl. §. 163 Anmerkung 1.) Da man $k = \frac{2gp}{d''}$ setzen kann, so stimmt (60) mit (33) vollständig überein, wenn man 2gh bei grossen Spannungen vernachlässigt. Die Ausflussmenge beträgt dann $q''v$ für den Druck p'' und $\frac{p''q''v}{p}$ für den Druck p. Kann man die Grösse der Ausflussöffnung dem Querschnitt des Behälters gegenüber als unendlich klein ansehen, also $\frac{q''}{q} = 0$ setzen, so hat man wiederum:

$$v = \sqrt{2k \log . \frac{p}{p''}} \tag{61}$$

ähnlich wie (34), wenn man 2gh vernachlässigt.

[2]) Eine Reihe von Berechnungen nach den Beobachtungen von LAGERHJELM und D'AUBUISSON gibt NAVIER a. a. O. p. 330 und 333. Vgl. auch die Bestimmungen bei WEISSBACH, Experimental-Hydraulik S. 179—194.

[3]) NAVIER p. 337—344.

[4]) p. 344—353.

[5]) p. 353—353.

§. 213. Kann man die Reibung bei einem cylindrischen Ansatzstücke von bester Form (§. 165), dessen Länge nur acht bis zehn Mal so gross als der Durchmesser ist, vernachlässigen, und fällt der Druckunterschied nicht bedeutend aus, so lässt sich dieselbe Gleichung, die für den unmittelbaren freien Ausfluss aus der Wand des Behälters gilt, anwenden. Der von ihr gelieferte Werth ist aber viel zu gross, wenn die Länge der Röhre den Durchmesser bedeutend z. B. um das Hundertfache übertrifft [1]). Der Druck nimmt dann auch im Laufe derselben merklich ab. Die Erfahrung zeigt dabei an, dass der Widerstand nur wie das Quadrat der Geschwindigkeit wächst. Das zweite, der einfachen Geschwindigkeit entsprechende Glied, das auch NAVIER mit COULOMB für tropfbare Flüssigkeiten annimmt (§. 173), fällt also für elastische fort. Die Gleichung [2]), welche die Ausflussgeschwindigkeit am Ende der Röhre angibt, enthält einen Verbesserungscoëfficienten, den man durch Versuche bestimmen muss [3]). Ist die Ausflussmündung enger als das Durchflussrohr des Gases, so kann man die Austrittsgeschwindigkeit berechnen, wenn man den Druck im Behälter, den an der Ausflussöffnung, den an der Stelle der grössten Venencontraction, den an der Uebergangsstelle von dieser in die volle Breite des Stromes und den dicht hinter der Durchmesseränderung des bis jetzt cylindrischen Rohres für die engere Ausflussöffnung, den oben erwähnten Erfahrungscoëfficienten, die Länge und den Durchmesser der Röhre, den Querschnitt des Behälters und den der Ausflussöffnung kennt [4]).

§. 214. Es lässt sich theoretisch erwarten und die Erfahrung bestätigt es, dass im Allgemeinen Kniebeugungen die Schnelligkeit eines Gasstromes mehr verkleinern, als allmälige Krümmungen.

---

[1]) NAVIER p. 355.

[2]) Sie lautet (p. 358):

$$v = \sqrt{\left(\frac{\frac{k}{2}\left(\frac{p^2}{p''^2} - 1\right)}{\frac{8\beta l}{r} + \log \frac{p}{p'}}\right)} \qquad (62)$$

wo β den Erfahrungscoëfficienten, l die Länge, r den Halbmesser des Cylinderrohres bezeichnet und die übrigen Buchstaben dieselbe Bedeutung wie in (60) haben.

[3]) Da sich (62) nicht auf (60) zurückführen lässt, so glaubt NAVIER (p. 361), es rühre dieses davon her, dass die Reibung eines strömenden Gases gegen die Wand der Röhrenleitung die Natur der Bewegung wesentlich ändere.

[4]) NAVIER a. a. O. p. 365.

(§. 189) und der Uebergang aus einer engeren in eine weitere Röhre, aus einem Stamme in eine Reihe von Verzweigungen, deren Querprofilsumme grösser als der Querschnitt des Stammes ist, die Geschwindigkeit einer elastischen Flüssigkeit ebensogut abnehmen lässt, als die einer tropfbaren Masse. Eine genaue Theorie der feinern Einflüsse der Zusammendrückbarkeit fehlt aber noch gänzlich. Man pflegt ohne Weiteres den Satz aufzustellen, dass sich die Ausflussgeschwindigkeiten zweier verschiedener Gase unter sonst gleichen Verhältnissen umgekehrt wie die Quadratwurzeln ihrer Dichtigkeiten verhalten. Dieses kann aber nur annäherungsweise für sehr grosse Spannungsunterschiede und selbst dann bloss gelten, wenn man alle Störungen durch die Venenzusammenziehung, durch innere und äussere Reibung und durch Wärmeänderungen ausser Acht lässt, und die Ausflussöffnung als unendlich klein ansieht[1]).

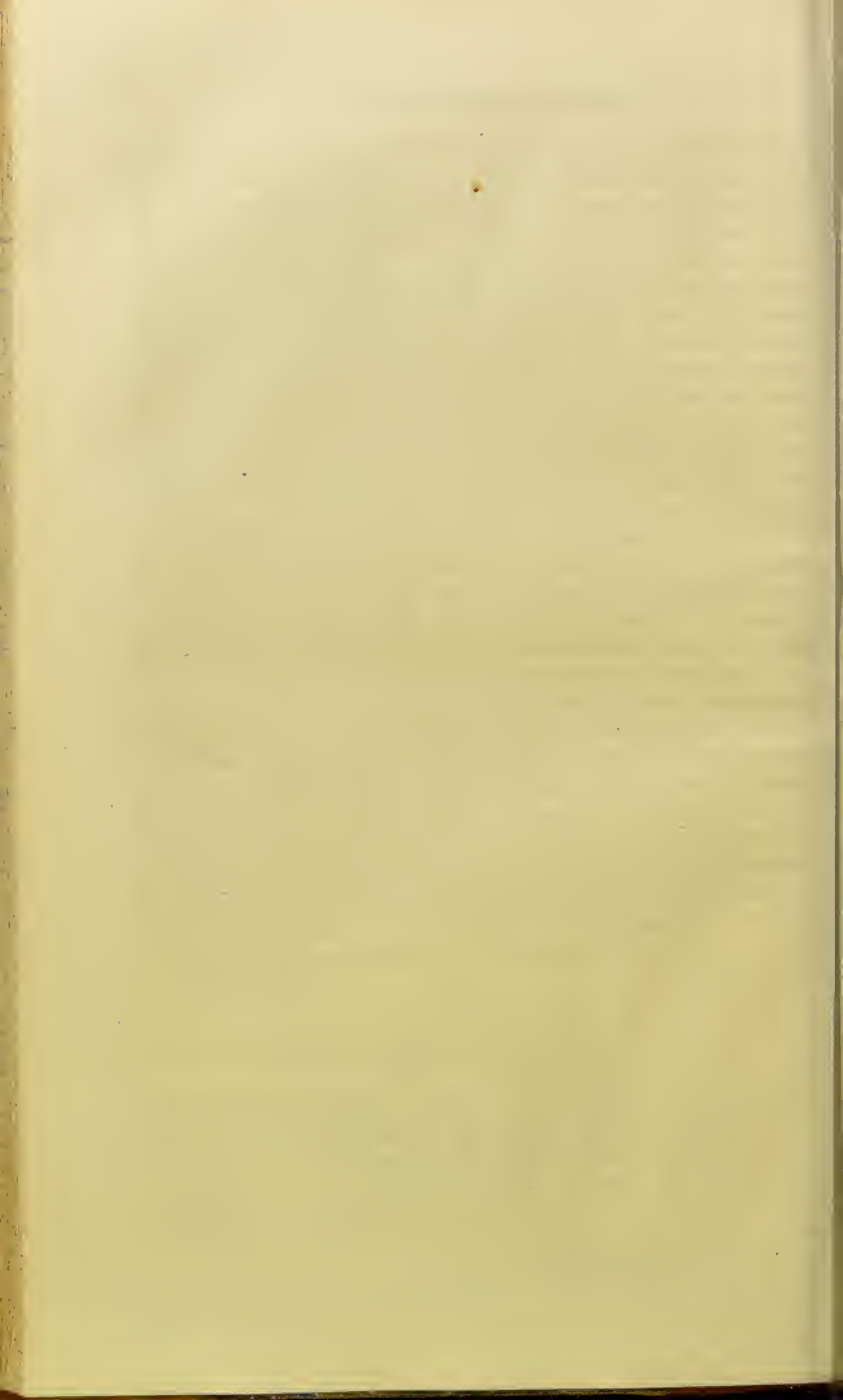
§. 215. Versuche lehren, dass ein negativer Druck auf die Wand und die Bernouilli'sche Wirkung (§. 166) bei Gasen unter ähnlichen Grundbedingungen, wie bei tropfbaren Flüssigkeiten vorkommen. Hat man eine weite cylindrische Röhre, in deren Wandung sich ein zweischenkeliges Wassermanometer befindet, und an deren erster Grundfläche eine enge, an der zweiten dagegen eine weitere Röhre angebracht ist, so kann der Druckmesser bei passenden Verhältnissen der Querschnitte und der Geschwindigkeiten einen positiven Druck anzeigen, wenn man durch die weitere und einen negativen, so wie man durch die engere Röhre bläst. Strömt ein Gas durch die verengerte Ausflussmündung einer kurzen oder einer langen Röhrenleitung, so ist es nach der Theorie von NAVIER[2]) und den Versuchen von D'AUBUISSON[3]) für die Arbeitsleistung vortheilhafter, einen grossen Querschnitt der Röhre in Verhältniss zu dem der Ausflussöffnung zu nehmen. Die Anwendung aller dieser Sätze auf die Einzelverhältnisse der Athmungswerkzeuge ergibt sich ohne Weiteres.

---

[1]) Das Gesagte folgt unmittelbar aus (33), wenn $\frac{q''}{q} = 0$ gesetzt und 2gh vernachlässigt wird oder aus (60), wenn man $k = \frac{p}{\varrho}$ macht, wo ϱ die Dichtigkeit bezeichnet.

[2]) NAVIER a. a. O. p. 365. Vgl. auch PONCELET, Mechanik. Bd. II. S. 31. 32.

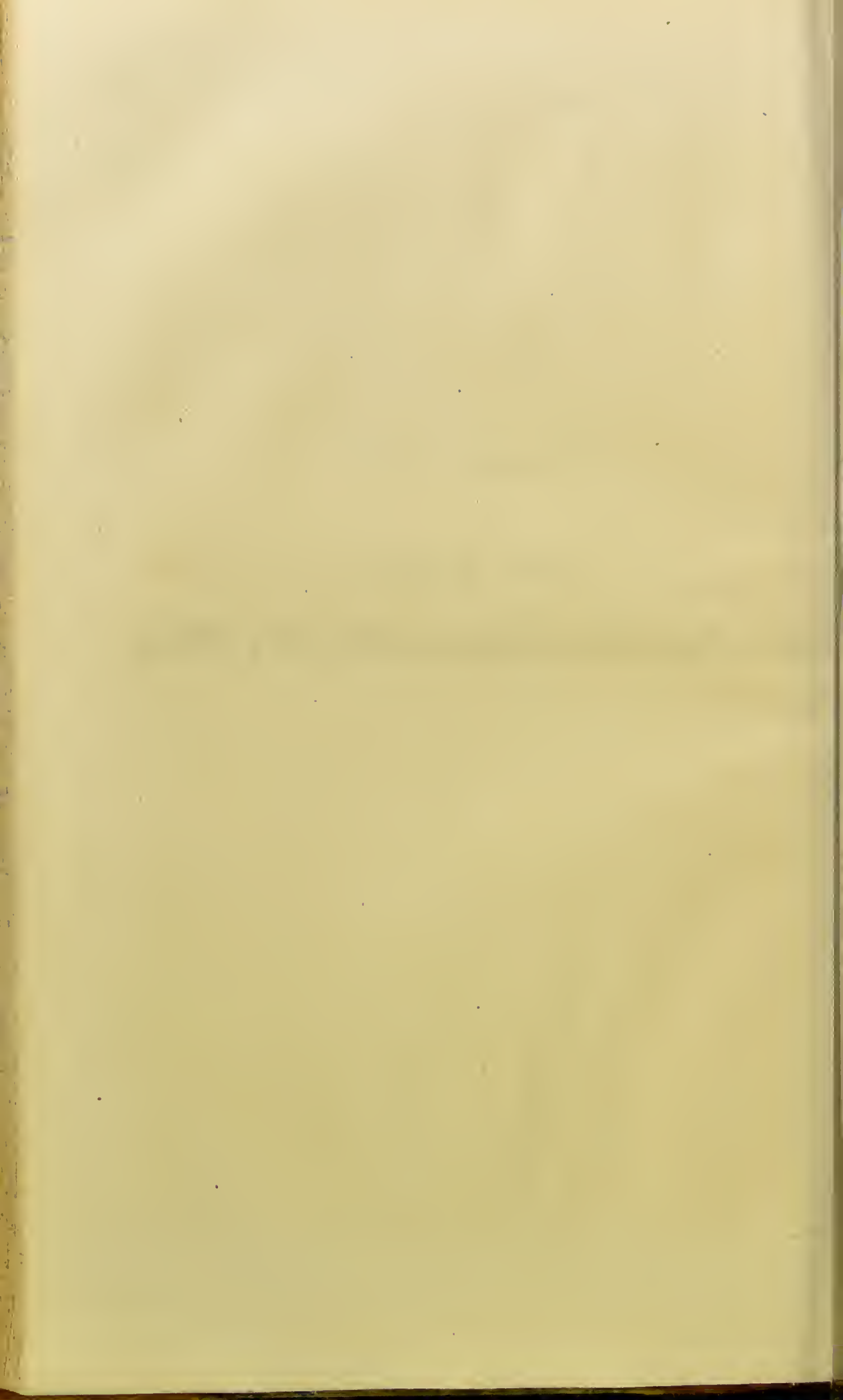
[3]) D'AUBUISSON a. a. O. S. 457.



Besonderer Theil.

Erster Abschnitt.

Die allgemeinen Eigenschaften des Blutes.



§. 216. Wie der Künstler nur die Umrisse seines Gemäldes zuerst entwirft, dann die Einzelheiten einträgt und zuletzt noch hier und da Lichter oder Schatten, je nach dem vollständigeren Eindrucke des Ganzen, aufsetzt, so muss sich ein ähnlicher Gang für die uns hier beschäftigende Untersuchung wiederholen. Die einleitende Betrachtung des Blutes kann nur den ersten und gröbsten Entwurf des Räderwerkes liefern. Die einzelnen Stücke müssen erst nach und nach um so genauer bestimmt und gleichsam ausgefeilt werden, je weiter wir in der Darstellung der dem Stoffwechsel dienenden Thätigkeiten fortschreiten.

1. Mechanische Zusammensetzung.

§. 217. Die Mischung des lebenden Blutes erhält sich nur durch die Bewegung desselben. Die fortwährende Unruhe, die das Herz von den frühesten Embryonalzeiten bis zu den letzten Lebensaugenblicken erzeugt, bildet desshalb eine Grundbedingung der regelrechten Zusammensetzung der Blutmasse. Die mechanische Mengung von Flüssigkeit und Festgebilden, die wir Blut nennen, kann in der Ruhe nicht bestehen, weil die Blutkörperchen eine grössere Eigenschwere, als die Blutflüssigkeit besitzen. Ein Strom rüttelt sie nur dann aus der durch ihre Gleichgewichtslage bestimmten Ruhestellung auf, wenn das Gewicht einer der Stosswirkung der Flüssigkeit gleichwerthigen Drucksäule das eines jeden entsprechenden Blutkörperchens übertrifft (§. 199). Da jener Werth von dem Quadrate der Geschwindigkeit abhängt (§. 195), so bildet die mechanische Beschaffenheit des Blutes eine (mathematische) Function der Schnelligkeit, mit der es in den verschiedenen Körpertheilen strömt. Hält man sich an die gewöhnlichen regelrechten Zustände, so fliesst es in den Schlag- und den Blutadern so rasch dahin, dass ungefähr

die gleiche Menge von Blutkörperchen in jeder Volumenseinheit an allen Orten schwebend erhalten bleibt. Die langsamere Bewegung in den Haargefässen dagegen führt zu einer wesentlichen Sonderung. Indem man hier die geringste Geschwindigkeit im Umkreise und die grösste in der Achse des Rohres hat und die durchschnittliche Schnelligkeit der Bewegung überhaupt klein ausfällt (§. 179), so ereignet es sich nicht selten, dass nur der Mittelstrom die nöthige Geschwindigkeitsgrösse besitzt, die Blutkörperchen in seiner Masse zurückzuhalten. Man findet daher hier eine andere mechanische Zusammensetzung des Blutes, als in den grossen Gefässen und eine andere in der Mitte, als in dem Umkreise. Diese Schnelligkeitsbeziehungen sind auch, wie wir sehen werden, die Ursache, wesshalb die Störungen, die wir Blutstockung und Entzündung nennen, in den Haargefässen zuerst auftreten.

§. 218. Die nur mikroskopische Grösse der Festgebilde, welche die Bewegung des Blutes schwebend erhält, begünstigt die Dauer dieses Zustandes. Ein kleiner Körper besitzt eine in Verhältniss zu seinem Volumen ausgedehntere Oberfläche als ein ähnlicher grosser. Diese übt aber einen wesentlichen Einfluss auf alle Bewegungen, die innerhalb eines widerstehenden Mittels (§. 194) vor sich gehen, aus. Obgleich Körper jeglicher Art mit derselben Schnelligkeit in dem luftleeren Raume fallen, so sinkt doch eine Feder in der Atmosphäre langsamer, als ein gleich schweres Bleikügelchen, weil jene eine weit grössere Widerstandsfläche darbietet und der Erfolg nicht bloss von der ertheilten Geschwindigkeit, sondern auch von der berührenden Oberfläche der fallenden Masse abhängt. Ein Regen, der kleine Schlammtheile zuführt, reicht hin, das klarste Bergwasser für eine merkliche Zeit trübe zu machen. Das stärkste Ungewitter dagegen und die hierdurch bedingte reissendste Strömung führt die grossen Kieselsteine nahe am Boden dahin oder schleudert sie nur für Augenblicke von ihrer Unterlage fort. Die mikroskopische Kleinheit der Blutkörperchen erschwert es, dass sich das Blut bei geringer Geschwindigkeit oder dem Mangel der Bewegung rasch abklärt. Ein anderer Umstand greift hierbei noch wesentlich durch. Der Widerstand einer Flüssigkeit wächst im Allgemeinen mit der Eigenschwere derselben (§. 196) und die Leichtigkeit des Sinkens einer schwebenden Masse mit dem positiven Grössenunterschiede ihres eigenen specifischen Gewichtes und dessen der Flüssigkeit. Da aber die Festgebilde des Blutes nicht um so viel schwerer als die Blutflüssigkeit sind, als z. B. Sand in Ver-

hältniss zum Wasser, so setzt sich auch dieser aus einer geschüttelten Mischung schneller, als die Blutkörperchen aus dem ruhenden Blute ab. Die mikroskopischen Kalkkugeln des Pferdeharnes können den Unterschied anschaulich machen.

§. 219. Die gegenseitige Adhäsion und die innere und die äussere Reibung (§. 177) der einzelnen Theile der Blutflüssigkeit üben einen merklichen Einfluss auf die mechanische Zusammensetzung des Blutes aus. Der Eiweissgehalt macht sie klebriger (§. 11) als reines Wasser, so dass sich die Molecüle schwerer von einander trennen. Dieser Widerstand verräth sich zunächst, wenn die Festgebilde des Blutes von der Strömung fortgerissen werden. Er setzt sich auch anderseits der Senkung der Blutkörperchen des ruhenden Blutes entgegen. Wir werden sehen, dass er im Allgemeinen günstigere Bedingungen in dem zweiten, als in dem ersten Falle antrifft. Er erleichtert also im Ganzen den Zustand der vollständigeren mechanischen Mengung. Die Betrachtung des Blutlaufes der Haargefässe wird uns zeigen, dass der Gleitungscoëfficient der Blutflüssigkeit in Bezug auf die Blutkörperchen mit der Form der letzteren und den Richtungsbeziehungen ihrer Achsen und der der Strömung wechselt. Man kann daher nicht die Stärke, mit der sich die Reibung der Mischung oder der Scheidung von Festgebilden und Flüssigkeit widersetzt, im Allgemeinen bestimmen. Die mikroskopische Beobachtung lehrt, dass der Gleitungswiderstand der Blutkörperchen unter regelrechten Bedingungen gering bleibt, unter krankhaften später zu erläuternden Verhältnissen dagegen beträchtlich zunimmt. Er besitzt daher auch einen wesentlichen Einfluss auf die mechanische Zusammensetzung des Blutes. Die Erscheinungen, welche die Stockung und die Entzündung begleiten, weisen dieses am Deutlichsten nach.

§. 220. Das vollständig gemengte Blut bildet eine mechanische Mischung von dreierlei Hauptbestandtheilen. Die Blutflüssigkeit enthält die rothen oder die farbigen und die weissen bis gelblichen, die sogenannten farblosen Blutkörperchen oder die Lymphkörperchen des Blutes aufgeschwämmt. Man umfasst übrigens sehr verschiedenartige Bestandtheile unter dem Namen der farblosen Festgebilde des Blutes. M. SCHULTZE [1]) unterscheidet in dieser Hinsicht Klümpchen farbloser Kügelchen, weisse Blutkörperchen, in denen eine schmale Protoplasmaschicht den Kern umgibt,

[1]) M. SCHULTZE in s. Archiv für mikroskopische Anatomie. Bd. I. 1865. 8. S. 9—38.

fein- und grobkörnige Kugeln. Man darf bei der Beurtheilung der Farben mikroskopischer Gegenstände nicht übersehen, dass die Stärke der Färbung für denselben Grad von Durchsichtigkeit mit der Vergrösserung abnimmt, weil die Zahl der färbenden Elemente unverändert bleibt, der Raum dagegen zu wachsen scheint. Kommt uns daher die Blutflüssigkeit fast farblos oder höchstens spurweise gelblich vor, wenn wir sie in der Wandschicht der Haargefässe (§. 217) unter einer ein- bis zweihundertfachen Vergrösserung sehen, so könnte sie immer noch eine merkliche Färbung dem freien Auge darbieten. Dasselbe wiederholt sich für die verschiedenen Arten von Festgebilden des Blutes.

§. 221. Da die Körperchen desselben zu klein sind, als dass wir sie mit unbewaffnetem Auge zu erkennen vermöchten, so erscheint uns das vollkommen gemischte Blut als eine gleichartige Flüssigkeit. Der Irrthum, den wir hierbei begehen, bezieht sich nicht bloss auf die Bestandtheile, sondern auch auf die Färbung. Es wiederholt sich dieselbe Täuschung, die sich auch für die Erkenntniss des Grüns der Pflanzenwelt geltend macht. Kein Theil eines Gewächses ist durch und durch grün, wie die unmittelbare Anschauung anzudeuten scheint. Das Blattgrün oder das Chlorophyll liegt vielmehr in der Form von einzelnen runden Körpern oder von harzig zerflossenen Massen in farblosen Zellen zerstreut. Die nicht grün gefärbten Zwischenräume sind zu klein, als dass wir sie mit unbewaffnetem Auge unterscheiden könnten. Wir erhalten daher den gleichmässigen Eindruck einer ununterbrochenen grünen Fläche. Da aber die Stärke der Färbung der der Mischung der Farbe des ursprünglichen Blattgrüns, wie sie dem freien Auge erscheinen würde, und der anderen Färbungen der Zwischenräume entspricht, so fällt sie matter als die aus, welche dem Blattgrün ursprünglich angehört. Das Blut bietet ähnliche Beziehungen dar. Wir sehen es gleichförmig roth und zwar in derjenigen Farbenstärke, die der Mischung der tiefrothen Blutkörperchen, der gelblichen Lymphkörperchen des Blutes und der blassen Blutflüssigkeit eigen ist. Aendert sich das Mengenverhältniss eines oder mehrerer Bestandtheile, so verräth sich der Unterschied erst dann für unser freies Auge, wenn die Zu- oder die Abnahme bedeutend genug ist, um die Stärke der Farbe der Gesammtmischung nachdrücklicher wechseln zu lassen. Wir erkennen es daher nicht unmittelbar, dass z. B. das Blut eine verhältnissmässig grössere Menge von farblosen Körpern bei raschem Nahrungsumsatze enthält. Die Unterschiede fallen aber in Bleichsüchtigen,

Milzkranken oder Leukocythaemischen ohne Weiteres auf. Da die rothen Blutkörperchen die Hauptträger der regelrechten Färbung des Blutes bilden, so lässt sich erwarten, dass ihr Farbenunterschied in dem hoch- und dem dunkelrothen Blute bedeutender ist, als man nach der Betrachtung mit freiem Auge erwarten würde. Die zu ihrer Erkenntniss nöthige Mikroskopvergrösserung (§. 220) hindert es aber, die Abweichung überhaupt an ihnen nachzuweisen, weil unser Auge unsicherer urtheilt, so wie die Farbenverdünnung eine gewisse Grenze überschritten hat.

§. 222. Man kann die Formen der Festgebilde des Blutes der Wirbelthiere auf drei Hauptgestalten zurückführen. Die *Lymphkörperchen des Blutes* oder, wie man sie unabhängig von aller Nebenannahme nennen sollte, die *weissen Blutkörperchen* bilden Kugeln oder richtiger kugelähnliche Massen, also Körper, die eine nach allen Richtungen beinahe gleich grosse Achse besitzen. Die *rothen Blutkörperchen* des Menschen, der grössten Zahl der Säugethiere und der Cyclostomen unter den Knorpelfischen entsprechen Umdrehungskörpern, deren Umdrehungsachse von dem Punkte der grössten Krümmung der einen Flächenvertiefung zu dem der anderen geht und deren Umdrehungscurve zwei seitlich symmetrische concave Abschnitte und ein convexes oder ein zum Theil fast ebenes und zum Theil ausgebauchtes Verbindungsstück hat. Man findet hier zwei auf einander senkrechte Hauptachsen, die Umdrehungsachse und die auf ihr lothrechte Linie grösster Länge, die den Durchmesser des grössten auf der Umdrehungsachse senkrechten Kreisschnittes bildet und die man am Zweckmässigsten als Abscisse eines rechtwinkeligen Coordinatensystemes für die Umdrehungscurve nehmen kann. Die länglichrunden Blutkörperchen des Kameels, des Dromedars, des Lama, der Vögel, der Amphibien, der Knochen- und eines Theiles der Knorpelfische entsprechen keinen Umdrehungskörpern. Sie haben vielmehr drei auf einander senkrechte Hauptachsen von verhältnissmässig grösster Länge. Ihre Theile liegen seitlich symmetrisch zu jeder Ebene, die man sich durch ein beliebiges Paar dieser Achsen bestimmt denkt. Man kann daher nach dieser Erläuterung sagen, dass die weissen Blutkörperchen einachsige, ein Theil der rothen zwei- und ein anderer dreiachsige Körper bilden.

§. 223. Wir haben §. 34 gesehen, dass die Kugel derjenigen Form entspricht, welche die kleinste Oberfläche mit dem verhält-

nissmässig grössten Volumen verbindet[1]). Da der Widerstand, den ein Körper einer bewegten Flüssigkeit entgegensetzt, mit der Oberfläche desselben wächst (§. 194), so könnte man sich zu dem Schlusse berechtigt glauben, dass die Kugelform der vollständig ausgebildeten weissen Blutkörperchen die Bewegung derselben innerhalb der Blutmasse erleichtert. Es wurde §. 198 dargestellt, dass die Körpergestalt der Fische günstige Bedingungen, die Widerstandshindernisse zu überwinden, darbietet. Entsprechen auch die länglichrunden Blutkörperchen dieser Form nicht, so erfüllen sie wenigstens die Forderung, dass ihr Querdurchmesser um mehr als die Hälfte breiter, als ihr vorderes oder hinteres abgerundetes Ende erscheint. Diese teleologische Auffassung[2]) erweist sich aber als ungenügend, so wie man die Verhältnisse näher betrachtet. Die weissen Blutkörperchen bilden keine glatten Kugeln. Ihr granulirtes

[1]) Den Beweis dieses Satzes nach der gewöhnlichen Regel des Grössten und Kleinsten und ohne Hülfe der Variationsrechnung siehe z. B. bei Fr. Autenheimer, Elementarbuch der Differential- und Integralrechnung. Weimar 1865. 8. S. 249. 250.

[2]) Alle die Variationsrechnung betreffenden Fragen, also auch die nach den Körpern kleinsten Widerstandes (§. 145), grössten oder kleinsten Umfanges, der höchsten oder der tiefsten Lage des Schwerpunktes (§. 34), überhaupt alle Aufgaben der Maxima und der Minima kommen darauf hinaus, dass der Ausdruck der ersten Ableitung der Grundgleichung Null gesetzt wird. Es entspricht diesem Umstande, dass manche der mechanischen Principien, die §. 16 aufgeführt worden, wie das der kleinsten Wirkung von Maupertuis oder der stationären Thätigkeit von Hamilton, das des kleinsten Zwanges von Gauss und bei näherer Erläuterung auch die übrigen Grundsätze der Mechanik und ebenso der Beweis der Zurückwerfung und der Brechung des Lichtes und der Strahlen überhaupt nach dem Principe des kürzesten Weges, den Hauptgedanken der grössten Sparsamkeit einzuschliessen scheinen. Man hat dieses als eine Folge der Weisheit der Natur angesehen oder ihm überhaupt eine teleologische Deutung gegeben. (Siehe z. B. die durch ihre Leidenschaftlichkeit betrübende Streitschrift von Euler, Diss. de principio minimae actionis. Berolini 1753. 8. p. 2—11 oder Euler, Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes. Lausannae et Genevae 1744. 4. p. 245, und Euler, Hist. de l'Acad. de Berlin. 1753. Berlin 1755. 4. p. 306.) Da aber nicht immer die Minima, sondern die Maxima, wie z. B. bei dem stabilen Gleichgewichte schwimmender Körper (§. 56) in Betracht kommen, so kann diese Auffassungsweise nicht genügen. Der wahre Grund liegt vielmehr darin, dass, wenn keine Stetigkeitsunterbrechung oder keine Einschaltung unendlicher Werthe stattfindet, die Variationen in der Nähe eines Maximums sowohl als eines Minimums, wie Keppler (Opera omnia. Ed. Ch. Frisch. Vol. IV. Francofurti et Erlangae 1863. S. p. 606) zuerst zum Theil hervorhob, kleiner sind, als an irgend einer anderen Stelle und zwar um so kleiner, je weniger sie von jenen ausgezeichneten Punkten entfernt liegen. Handelt es sich daher um eine Stellung oder eine Thätigkeit, bei der alle störenden Schwankungen fortfallen müssen, so wird nur ein Maximum oder ein Minimum dieser Bedingung Genüge leisten.

Aussehen erzeugt vielmehr eine Reihe von Vorsprüngen und Vertiefungen, die Strudel und desshalb grössere und unregelmässige Widerstände hervorrufen können. Da der Kern der dreiachsigen rothen Blutkörperchen meistentheils dicker als der kernlose Hüllentheil ist, so bedingt er eine Hervorragung, deren Wirkung den Widerstand nicht vermindert. Es ergibt sich hieraus, dass die Festgebilde des Blutes keine Körper geringsten Widerstandes (§. 198) sind und ihre Gestalten keine ausschliessliche Zweckbeziehung zu ihrem Schweben und Schwimmen verrathen.

§. 224. Untersucht man die frische Blutmasse in dem dunkeln Gesichtsfelde des Polarisationsmikroskopes, so glänzen nur einzelne der von vorn herein in seltenen Fällen vorhandenen oder der durch die Verdunstung niedergeschlagenen oder zufällig beigemengte Krystalle des nicht regulären Systemes. Die Blutkörperchen bleiben dunkel, wie andere einfach brechende Körper. Sie erhalten eine gelbe oder gelborange Färbung, wenn man sie auf dem rothen Gesichtsfelde eines eingeschalteten Gypsblättchens von Roth erster Ordnung betrachtet. Da aber diese Farbe bei allen ihren Stellungen oder denen der Achsenebene des Gypses unverändert bleibt, so folgt, dass sie nicht durch den Gangunterschied zweier Strahlen, sondern durch die Mischung der natürlichen Farbe des Blutes und der des hellen Gypsgrundes entsteht. Man macht dieselbe Erfahrung an den eingetrockneten Blutkörperchen des Menschen und der verschiedensten Wirbelthiere. Es wäre jedoch auch der Fall denkbar, dass sich Spannungen bei dem Eintrocknen erzeugen und daher die Doppelbrechung nachträglich auftritt. Man muss sich hier vor Täuschungen hüten, die durch Krystalle entstehen, welche sich in Folge der Verdunstung niederschlagen. Diese können die lebhaftesten gelben oder blauen Polarisationsfarben liefern, je nachdem man die Achsenebene des Gypsblättchens von Roth erster Ordnung unter $+45^0$ oder -45^0 eingestellt hat.

§. 225. Die Festgebilde des frischen Blutes wären dick genug, um auf dem dunkeln Gesichtsfelde des Polarisationsmikroskopes zu leuchten oder in eigenthümlichen Interferenzfarben zu erscheinen, wenn ihnen kein ganz unbedeutender Grad von Doppelbrechung zukäme. Man wird daher aus den eben angeführten Erfahrungen schliessen, dass sie keine concentrische Schichtung mit Spannungen besitzen oder ihre Theilchen in der Richtung einer Hauptachse enger als in der einer anderen zusammenliegen. Entstehen die zwei- und die dreiachsigen Blutkörperchen des Embryo aus kugeligen

Zellen und die des Erwachsenen aus weissen Blutkörperchen, so kann desshalb die Veränderung nur nach der Mechanik vor sich gehen, welche einen Krystall des regulären Systemes erzeugt, ohne Spannungen zu entwickeln, nicht aber nach der, mittelst welcher wir einen nicht starren Körper umformen, indem wir ihn in einer Richtung zusammendrücken und hierdurch in den beiden anderen Hauptrichtungen erweitern.

§. 226. Es wurde schon §. 62 hervorgehoben, welche Vortheile die Zerklüftung der lebenden Organtheile zu mikroskopischen Geweben in allen Fällen gewährt, in denen es sich um Oberflächenwirkungen handelt. Dieser Satz gilt natürlich auch für die verschiedenen Blutkörperchen. Oberflächen von fast unglaublicher Grösse sind hier in jedem Augenblicke in dem Lungen- und dem Körperkreislaufe thätig.

§. 227. Die Festgebilde, die man in einem bekannten verdünnten Blutvolumen nach dem Verfahren von VIERORDT[1]) zählt, umfassen alle Arten von Blutkörperchen. Lassen wir die Einflüsse der warzigen Erhebungen der weissen und die Aushöhlungen und die Abrundung der Randbegrenzungen der rothen Körperchen, wie sie in dem Menschen und den Säugethieren vorkommen, unberücksichtigt und berechnen jene als Kugeln und diese als Kreiscylinder mit ebenen Endflächen, so werden wir eine kleinere Gesammtoberfläche

---

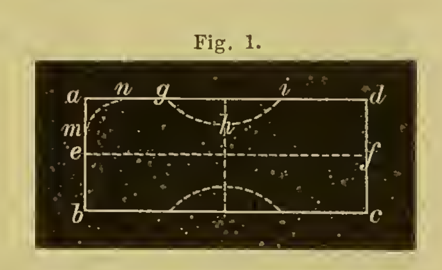
[1]) K. VIERORDT, Grundriss der Physiologie der Menschen. Dritte Auflage. Tübingen 1864. 8. S. 9. WELCKER suchte das Verfahren auf colorimetrischem Wege abzukürzen. Er nahm die Farbe einer Blutart, deren Körperchen in einem Tropfen gezählt und die später mit einer bekannten Menge von Wasser verdünnt worden, als Grundmaass und bereitete eine gleich gefärbte Flüssigkeit aus dem zu untersuchenden Blute, von dem er eine bekannte Menge mit einer gegebenen Wassermenge mischte. Hatte er eine sogenannte Blutflecken-scale oder eine Reihe eingetrockneter gleich grosser, aber ungleich verdünnter Tropfen Blutes, dessen Körperchengehalt bekannt war, so stellte er einen ähnlichen Tropfen aus einer bekannten Verdünnung des zu bestimmenden Blutes her und untersuchte, mit welchem Flecke der Scale er nach dem Eintrocknen übereinstimmte. Betrachtet man auch das Verfahren der Natur der Sache nach nur als ein Bemühen, die Zahl der Blutkörperchen in erster entfernter Annäherung festzustellen, so gestattet es doch immer noch den Einwurf, dass es voraussetzt, die Menge der Blutkörperchen und die des Farbestoffes wechselten in gleichem Grade, dass also je zwei Körperchen gleichen Rauminhaltes dieselbe Masse von Farbestoff, der später in das Wasser tritt, einschliessen. Die Entwickelung der rothen Blutkörperchen, der Beschaffenheitswechsel derselben im ausgebildeten Zustande und die ungleichen Mengen von weissen Körperchen, die neben ihnen im Blute vorkommen, sprechen gegen diese Annahme.

erhalten, als in der Wirklichkeit hergestellt ist[1]). Diese Einschränkung zeigt sich als unerlässlich, wenn man keine scheinbar genaueren, aber unzuverlässig begründeten Rechnungen machen will. Wir werden sogleich sehen, dass man sich über die verhältnissmässige Menge der weissen und der rothen Blutkörperchen leicht täuscht. Aber auch die Zählung aller Blutkörperchen ohne Unterschied liefert immer nur Näherungswerthe. Die Ergebnisse wechseln bisweilen um das Zwei- bis Dreifache, so dass z. B. ein Cubikmillimeter gesunden Kaninchenblutes 2,7 bis 6 Millionen Blutkörperchen nach VIERORDT enthalten kann. Die für den gesunden Menschen geltenden Mittelwerthe liegen zwischen 4,2 bis 5,6 Millionen[2]). Die Unsicherheit der in dieser Hinsicht annehmbaren Durchschnittsgrössen kann den bedeutendsten Einfluss auf die Endbestimmung ausüben. Man darf ferner nicht ausser Acht lassen, dass die absoluten Maasswerthe der verschiedenen gebrauchten Mikrometer so sehr wechseln, dass sich die Unterschiede für die Berechnung auf das Nachdrücklichste geltend machen[3]). Die Fehlerquellen der

---

[1]) Die in dem Blutvolumen V enthaltene Menge weisser Blutkörperchen sei $\frac{m}{n}$ und die der rothen $\frac{m}{n}(n-1)$, also die Gesammtsumme m. Nennt man D den Durchmesser eines weissen Blutkörperchens, so gleicht seine Oberfläche als die einer Kugel berechnet $D^2\pi$, wobei π die Ludolph'sche Zahl ist. Beträgt der Durchmesser eines Blutkörperchens d und seine grösste Dicke h, so erhält man $d\pi h$ für den Mantel und $\frac{d^2\pi}{2}$ für die Summe der beiden Endflächen, wenn man das Ganze als einen geraden Kreiscylinder abcd von dem Durchmesser ef und der grössten Höhe ab bestimmt. Die Aushöhlung ghi gibt eine grössere Oberfläche als die Ebene gi und die Abrundung mn mehr als die Summe der beiden Ebenen am und an, vorausgesetzt, dass man die Dicke oder die Höhe von a bis b und nicht von m bis zu dem entsprechenden entgegengesetzten Punkte rechnet. Die oben erwähnte Cylinderberechnung liefert daher eine kleinere Oberfläche als der Wirklichkeit entspricht.

Fig. 1.



Fasst man Alles zusammen, so erhält man für die Gesammtoberfläche Q aller Blutkörperchen des Blutvolumens V den Werth:

$$Q = 1,5708 \frac{m}{n} [2D^2 + d (d + 2h) (n-1)] \tag{63}$$

[2]) VIERORDT, Arch. für physiologische Heilkunde. Bd. XI. S. 870. 871.

[3]) Da die Zuverlässigkeit der Pariser Normalmaasse zweifelhaft ist, weil sich gerechte Bedenken gegen die Genauigkeit des der Meterlänge zum Grunde gelegten Meridianquadranten erheben lassen und überdiess die einzelnen Etalons in ihrer Theilung,

mikrometrischen Messung, die Unmöglichkeit, die Höhen der Granulationen der weissen und die Aushöhlungen der rothen Körperchen überall genau zu bestimmen und die Hauptkrümmungshalbmesser derselben zu ermitteln, ja nur die grösste und besonders die kleinste Dicke unzweifelhaft festzustellen, die bedeutenden Durchmesserschwankungen in den Millionen von Blutkörperchen eines jeden Tropfens, die einen selbst aus Hunderten von Einzelmessungen gezogenen Mittelwerth angreifbar machen, entziehen jede sichere Grundlage allen diesen Bestimmungen. Ein einziges Beispiel genügt unter diesen Verhältnissen, um einen allgemeinen Ausspruch zu versinnlichen.

§. 228. Wollte ich z. B. die Mittelwerthe der Durchmesser meines Blutes zum Grunde legen, so würde sich ergeben, dass ein Cubikmillimeter Blut eine Gesammtoberfläche von 615 Quadratmillimeter seiner weissen und rothen Blutkörperchen hat, wenn es im Ganzen $4^1/_2$ Millionen Körperchen und unter diesen etwas mehr als $^1/_{1000}$ weisse einschliesst[1]). Die gesammte Oberfläche aller bei dem

wie spätere Prüfungen zeigten, unter einander abweichen, so kann man von vorn herein nicht sagen, ob ein Mikrometer dem richtigen Millimeter entspricht oder nicht. Hat man Maassvorrichtungen verschiedener Künstler, so schleichen sich natürlich noch neue Grössen- und Theilungsunterschiede ein. Ich bestimmte die Millimeterlänge, die einem Schiek'schen und drei Oberhäuser'schen Glasmikrometern zum Grunde gelegt ist, mit einem und demselben Schraubenmikrometer von Schiek. Nahm man den wahrscheinlichsten Werth des Millimeters des Schiek'schen Glasmikrometers als Einheit, so ergab dann das erste Oberhäuser'sche Mikrometer 1,02, das zweite 0,99 und das dritte und am Feinsten getheilte 1,19. Hätte man also ein und dasselbe Blutkörperchen mit diesen vier Mikrometern gemessen, und der eine Grenzwerth 0,0070 Mm. betragen, so würde der andere 0,0084 Mm. ausgemacht haben. Streiten aber einzelne Mikroskopiker über solche und noch kleinere Unterschiede in den Angaben zweier verschiedener Forscher, die mit ungleichen Vorrichtungen arbeiteten, so zeigt dieses, dass sie sich den Einfluss der eben erläuterten Verhältnisse nicht klar machten.

Man hat mir zugeschrieben, dass ich allein den grössten mittleren Durchmesser der menschlichen Blutkörperchen zu 0,0079 angegeben habe. Joh. Müller (Handbuch der Physiologie des Menschen. Vierte Auflage. Bd. I. Coblenz 1841. 8. S. 99) z. B. fand ihn zu 0,0023 bis 0,0035 Pariser Zoll oder zu 0,0062 bis 0,0095 Mm. Dieses würde ebenfalls einen Mittelwerth von 0,0079 liefern. J. Bruener (De vesicularum sanguinis natura. Berolini 1835. 8. p. 18) erhielt sogar 0,0098 Mm. als höchsten Werth. Einzelne noch grössere Zahlen kommen in der von Köstlin (Die mikroskopischen Forschungen im Gebiete der menschlichen Physiologie. Stuttgart 1840. 8. S. 55) gelieferten Zusammenstellung der älteren Messungen vor.

[1]) Macht man $m = 4500000$; $n = 944$; $D = \frac{1}{250} = 0{,}004$ Mm.; $d = \frac{1}{130} = 0{,}0077$ Mm. und $h = \frac{1}{547} = 0{,}0018$ Mm., so gibt (63) den Werth $Q = 614{,}63$ Quadratmillimeter.

Blutlaufe thätigen Blutkörperchen würde dann die der äusseren Haut mindestens um das 1700- bis 1800fache übertreffen[1]).

§. 229. Wäre es möglich, zuverlässige Durchschnittsgrössen für den Durchmesser und die Hauptkrümmungshalbmesser der Blutkörperchen anzugeben, so hätte man die nöthigen Vorwerthe, um das Volumen derselben zu berechnen. Man könnte auf diese Weise erfahren, welcher mittlere Bruchtheil des Rauminhaltes auf die Gesammtmenge von Blutkörperchen und welcher auf die der Blutflüssigkeit in jedem Cubikmillimeter Blut kommt. Es folgt aus dem §. 227 Angeführten, dass jede sichere Grundlage für eine solche Bestimmung mangelt. Man kann aber auch hier die oben erwähnte Annäherungsrechnung nicht gebrauchen, weil sich nicht feststellen lässt, welchen Dickendurchmesser man den als Cylinder betrachteten Blutkörperchen zu Grunde legen soll[2]). Man könnte höchstens

---

Welcker, der eine grosse Reihe solcher Berechnungen für den Menschen und viele Wirbelthiere angestellt hat (Henle und Pfeuffer's Zeitschr. Dritte Reihe. Bd. XX. 1863. S. 257—307. Vgl. auch Huppert in Schmidt's Jahrb. Bd. CXXII. 1864. S. 145—149) nimmt den mittleren Durchmesser der menschlichen Blutkörperchen oder $d = 0{,}00774$ Mm. und die Dicke oder $h = 0{,}0019$ Mm. an. Er bestimmt die Oberfläche nach der von Gypsmodellen, die er sich anfertigte und findet hiernach, Alles als rothe Blutkörperchen berechnet, dass ein Cubikmillimeter Blut des Menschen, der 5 Millionen Blutkörperchen führt, 515 bis 660 und im Durchschnitte 640 Quadratmillimeter Gesammtoberfläche aller dieser Körperchen besitzt.

[1]) Meine äussere Hautoberfläche gleicht nahezu 1½ Quadratmeter. Enthielte mein Körper auch nur 4½ Kilogr. Blut, so würde dieses 4,2857 Cubikdecimeter Rauminhalt bei einer Eigenschwere von 1,05 einnehmen. Legt man den oben gefundenen Werth von Q zum Grunde, so erhält man eine Gesammtoberfläche von 2634,1 Quadratmetern für alle weissen und rothen Blutkörperchen. Diese würde sich also zur Oberfläche der äussern Haut, wie 1756 : 1 verhalten. Welcker findet 2816 Quadratmeter als Mittelwerth für 4,4 Kilogr. Körperblut.

[2]) Behält man die frühere Bedeutung der Buchstaben bei und denkt sich wiederum die weissen Blutkörperchen als Kugeln von dem Rauminhalte $\frac{D^3\pi}{6}$ und die rothen als Cylinder von dem Volumen $\frac{d^2\pi h}{4}$, so findet man für das Gesammtvolumen P der in dem Blutvolumen V enthaltenen Blutkörperchen den Werth:

$$P = 0{,}5236 \frac{m}{n} \left[D^3 + \frac{3}{2} d^2 h \, (n-1)\right] \qquad (64)$$

Würde man, wie früher, $h = \frac{1}{547}$ Mm. machen, so käme zu viel heraus. Die natürlich unrichtige Annahme der grössten Dicke des Blutkörperchens könnte sogar zu dem widersinnigen Ergebnisse führen, dass das Gesammtvolumen der Blutkörperchen grösser, als das des Blutes im Ganzen ist. Der kleinste Dickenwerth für h gäbe zu wenig. Da man aber die Krümmungen nicht kennt, so fehlen alle Mittel zur Bestimmung einer Zwischenzahl, der man vertrauen könnte.

von der geringsten Dicke ausgehen und demgemäss ermitteln, unter welche Grösse der relative Werth des Gesammtvolumens der Blutkörperchen keinesfalls heruntergeht. Selbst diese Bestimmung stösst aber auf die Schwierigkeit, dass man nicht unmittelbar die kleinste Dicke oder die Entfernung der beiden tiefsten Punkte der zwei Aushöhlungen in der Profilansicht und noch viel weniger in irgend einer anderen Stellung genau messen kann. Man müsste daher einen zu niedern Schätzungswerth willkürlich annehmen. Dächte man sich z. B., die mittlere Dicke betrüge zwei Dritttheil der grössten, so würden dieselben Grundwerthe, wie sie §. 228 angenommen worden, lehren, dass die Gesammtmasse der Blutkörperchen etwas mehr als ein Viertheil des Volumens des Blutes einnimmt. Man hätte ungefähr ein Dritttheil, wenn die mittlere Dicke fünf Sechstheile der grössten betrüge [1]). Der erste Werth nähert sich, wie wir sehen werden, dem, den einzelne ältere Forscher und der letztere dem, den SACHARJIN nach chemischen Bestimmungen annehmen zu können glaubten.

§. 230. Da die Lymphe, die in das Venenblut tritt, eine gewisse Menge weisser Körperchen fortwährend zuführt, so würde sich nach und nach eine Ueberfüllung mit Festgebilden geltend machen, wenn nicht eine Ausgleichung auf irgend eine Weise zu Stande käme. Man hat hier zunächst zwei Möglichkeiten. Die weissen Körperchen zerfallen nach einiger Zeit und lösen sich in der Blutflüssigkeit auf. Die mikroskopische Untersuchung scheint auch die Erzeugnisse dieses Vorganges in unregelmässigen Körnchenhaufen nachzuweisen. Oder sie verwandeln sich allmälig in farbige Blutkörperchen, während die ältesten von diesen zu Grunde gehen. ERB [2]) glaubt körnige Uebergangsformen zwischen beiden Arten von Körperchen in dem Blute des Menschen und des Huhnes beobachtet zu haben. Man scheint bis jetzt nur die zweite Annahme in Betracht gezogen und für sie eine Reihe von Voraussetzungen aufgestellt zu haben, die sich auf keine sichere Grundlage stützen. Hierher gehört die Annahme, dass die ältesten Blutkörperchen in der Leber zu Grunde gehen oder umgekehrt die jüngsten in ihr erzeugt würden. Man hat oft die Milz als das Grab oder auch anderseits als die Brutstätte der weissen Körperchen angesehen. Da ihre Ausrottung

---

[1]) Aendern sich die früheren Werthe nur insofern, als h=0,0012 Mm. wird, so gibt (64) P=0,2512 für einen Cubikmillimeter Blut. h=0,0015 gibt P=0,3140. WELCKER kommt nach seinen Berechnungen auf 0,261 bis 0,383 und im Durchschnitt auf 0,361.

[2]) HERMANN, med. Centralbl. 1865. S. 275—277.

die mechanische Mischung des Blutes nicht sichtlich ändert, so könnte jedenfalls ihre Thätigkeit, wenn sie sich im gesunden Körper geltend machte, durch die anderer Gebilde ersetzt werden. Die Folgerung, dass sich die rothen Blutkörperchen in weisse vor ihrem Untergange umwandeln, ist im Ganzen unwahrscheinlich.

§. 231. Es kann vorkommen, dass ein Bluttropfen eine bedeutendere Menge von Lymphkörperchen enthält, weil er von einer Gegend herrührt, in der grössere Saugadern in Venen münden. Wir werden überdies bei dem Kreislaufe der Haargefässe sehen, dass es von den jeden Augenblick wechselnden Geschwindigkeitsverhältnissen abhängt, ob das Blut eines Bezirkes mehr oder weniger farblose Blutkörperchen führt. Die Angabe, dass das Blut der Milz immer verhältnissmässig viele weisse Körperchen enthält, bestätigt sich häufig nicht. Sie wurde meist nach Untersuchungen am Leichname gemacht. Es versteht sich aber von selbst, dass hier nur Blutproben, die dem lebenden kräftigen Thiere entnommen worden, entscheiden können. Die Behauptung, dass die weissen Blutkörperchen in dem Blute der Pfortader oder in dem der Leberblutadern vorherrschen, bewährt sich nicht in der Mehrzahl der Fälle.

§. 232. Bereitet man sich eine dünne Blutschicht, um die Verhältnissmenge der weissen und der rothen Blutkörperchen des Menschen zu bestimmen, so stösst man häufig auf einzelne, von denen sich schwer entscheiden lässt, zu welcher Art sie gehören. Die weissen wechseln nicht selten ihre Formen durch physikalische Einflüsse oder durch den Vorgang, den Viele den selbstständigen Gestalt- und selbst Ortsbewegungen der Amoeben seit der ersten Beobachtung von LIEBERKÜHN gleichstellten [1]). Die Wasserverdunstung

[1]) Die neueren Untersuchungen von ROBIN, KÜHNE, PFLÜGER, RECKLINGHAUSEN, PREYER, STRICKER und LA VALETTE schreiben das selbstständige Austreten und Zurückziehen von Fortsätzen, die Umwandlung der Kugeln in flache Scheiben, die Ortsveränderung und das Fortkriechen durch die Spalträume der Gewebe, mit einem Worte Veränderungen, wie sie die Amoeben darbieten, nicht bloss den farblosen Blutkörperchen, sondern auch den Schleim-, den Speichel-, den Auschwitzungs-, den Eiterkörperchen und einzelnen Festgebilden des Samens und der Eier zu. MAX SCHULTZE (Arch. für Mikroskopie. Bd. I. 1865. S. 1—42), der seinen heizbaren Tisch für die Verfolgung dieser Erscheinungen in den farblosen Blutkörperchen benutzte, fand, dass die Bewegungen, die unter dem Einflusse einer Wärme von 36^0 bis 40^0 an Lebhaftigkeit ausserordentlich gewinnen, den fein- und den grobkörnigen Formen und den Uebergangsgestalten derselben in ausgedehnterem Maasse zukommen. Die, welche einen nur schmalen Protoplasmasaum um den Kern besitzen, zeigen unbedeutende Veränderungen. Sie fehlen den körnigen Klümpchen (§. 220), so wie den farbigen Blutkörperchen gänzlich. Bewahrt man

kann einzelne rothe Blutkörperchen bis zur Unkenntlichkeit ändern. Der Versuch, diese durch eine 26fache Wasserverdünnung des Blutes unkenntlich zu machen und dann die noch sichtbaren Körperchen als weisse zu zählen, bietet nicht unbedeutende Klippen des Irrthumes ebenfalls dar. Diese Schwierigkeiten scheinen es zum Theil zu erklären, wesshalb z. B. WELCKER je ein farbloses Blutkörperchen auf 157 rothe für das Aderlassblut eines vollblütigen neunzehnjährigen Mädchens und HIRT je eines auf 2200 für das Blut der Milzschlagader annahm.

§. 233. Da reichliche Mengen von Milchsaft zur Zeit der Dünndarmverdauung in die linke Schlüsselbeinvene übergehen, so darf man erwarten, dass dann das Blut eine grössere Menge von weissen Körperchen enthalten wird. Die Zählungen von HEUMANN, MOLESCHOTT [1]), DE PURY, LORANGE, HIRT und NASSE scheinen diesen Schluss zu bestätigen. Der umgekehrte Satz, dass die Zahl der weissen Körperchen bei dem Hungern in Vergleich mit einem guten Ernährungszustande abnimmt, lässt sich nicht mit Sicherheit aufstellen, weil dann immer noch eine reichliche Bildung und Zufuhr von Körperlymphe möglich bleibt. Die Menge dieser Festgebilde kann unter krankhaften Verhältnissen beträchtlich wachsen. Man weiss seit den Untersuchungen von VIRCHOW und BENNET, dass sie in der Leukaemie, der Leukocythaemie oder der Leukocythose ausserordentlich vermehrt erscheinen. Die farblosen, bisweilen stacheligen und zum Theil eiförmigen Körperchen können hier in reichlicherer Menge als die gefärbten vorhanden sein und die letzteren überdies wahrscheinlich weniger Farbestoff als unter regelrechten Verhältnissen enthalten.

Menschenblut in grösseren Mengen bei +5° C. auf, so treten die Formänderungen noch nach 6 bis 7 Tagen auf, wenn man den Tropfen auf 36° bis 40° C. erwärmt. Diese höhere Temperatur hebt sie dagegen schon nach zwei bis drei Stunden selbst in dem frischen Blute auf. Wie die Sarcode oder das Protoplasma der Infusionsthiere Hohlräume oder Vacuolen zeigt, so bemerkte SCHULTZE etwas Aehnliches in den weissen Blutkörperchen. Künftige Beobachtungen werden feststellen müssen, ob die beiderlei Arten von Massen wahrhaft gleich sind oder nicht und welche Ursachen der Formänderung zum Grunde liegen. Die Hauptfrage, ob diese auch in den weissen Körperchen des lebenden und kreisenden Blutes vorkommen, ist bis jetzt noch nicht in Angriff genommen worden. Die schwachen Vergrösserungen, unter denen man sie in dem strömenden Blute des lebenden Frosches oder Tritons einzeln erkennt, lassen sie kugelrund erscheinen. Dieselbe Form pflegt sich auch in dem in den Gefässen stockenden Blute zu zeigen, wenn sie hier überhaupt gesondert wahrgenommen werden.

[1]) Die Einzelwerthe siehe in Canstatt's Jahresbericht. 1854. Th. I. S. 165. 166. Vgl. auch LORANGE 1857. Bd. I. S. 87. 88.

Beide Eigenthümlichkeiten oder nur die erstere verbunden mit einem grössern verhältnissmässigen Wassergehalte des Blutes bedingen auch das erdfahle Aussehen, das die meisten an Milzvergrösserung leidenden Kranken schon aus der Ferne kenntlich macht. Man würde aber irren, wenn man jede blasse Hautfarbe auf einen solchen Grund zurückführen wollte. Da die Stärke der Färbung der einzelnen rothen Blutkörperchen schon in dem gesunden Blute beträchtlich wechselt (§. 221), so kann auch auf diese Weise ein nicht unbedeutender Grad von Blässe, wie manche Bleichsüchtige zeigen, erzeugt werden. Eine andere Möglichkeit liegt in der verhältnissmässigen Abnahme der Gesammtsumme der Körperchen ohne gleichzeitige rothe Färbung des Serum.

§. 234. Wir werden später die Ursachen kennen lernen, wesshalb Aderlässe eine geringere Flüssigkeitsleere in dem Gefässsysteme erzeugen, als die verlorene Blutmenge an und für sich fordern würde. Geht dann mehr Lymphe als sonst in das Blut über, so führt diese nur weisse Körperchen und zwar in weit geringerer Menge, als Blutkörperchen verloren gingen, zu. Die unmittelbar aufgesogenen Flüssigkeiten besitzen natürlich gar keine Festgebilde der Art. Die in der Volumenseinheit des Blutes enthaltene Menge von Körperchen muss daher nach grössern Blutverlusten merklich abgenommen haben. Die Versuche von VIERORDT[1]) bestätigen diese Folgerung. Die Zahl der Blutkörperchen war bis auf 52% in einem Kaninchen und einem Hunde gesunken, als die Thiere am Verblutungstode zu Grunde gingen. Die ausgetretene Blutmasse betrug in jenem $^1/_{13}$ und in diesem $^1/_{17}$ des Körpergewichtes. Man könnte auf den ersten Blick glauben, dass sich die Blutmenge eines Thieres aus jenem Unterschiede des verhältnissmässigen Gehaltes an Blutkörperchen berechnen liesse. Dieses wird aber unmöglich, weil man weder die nach dem Aderlasse eingetretene Menge von Lymphkörperchen, noch den Füllungsgrad des Gefässsystemes kennt und die unvermeidlichen, bei der Zählung begangenen Irrungen einen merklichen Einfluss auf den gefundenen Werth der absoluten Blutmenge ausüben würden[2]).

[1]) VIERORDT, Arch. der physiol. Heilkunde. Bd. XIII. S. 271.

[2]) Nehmen wir an, der Körper eines Thieres enthalte x Volumenseinheiten Blut, von denen jede q Körperchen führt, also im Ganzen xq Blutkörperchen. Wurden ihm p Einheiten Blut durch den Aderlass entzogen, so führte es nur noch (x—p) q Blutkörperchen und traten von der Lymphe aus α Körperchen hinzu, so hat man im Ganzen $(x-p)\,q+\alpha$ Körperchen. Drang anderseits die Flüssigkeitsmenge β in das Gefässsystem

§. 235. Die Versuche von LEYDEN und MUNK [1]) lehrten, dass die Phosphorsäure die rothen Körperchen des Aderlassblutes gleich den Gallensäuren rasch zum Verschwinden bringt und es dunkel, lackfarben und schwer gerinnbar macht. Die Einspritzung jener Säure in das Blut eines lebenden Thieres begünstigt auch das Auftreten von Blutungen oder Ekchymosen. Man sollte überhaupt nach dem Vierordt'schen Verfahren zu bestimmen suchen, ob und wie sich die in der Volumenseinheit enthaltene Menge der Blutkörperchen bei zu reichlichem Säure- oder Alkaligehalt des Blutes ändert.

§. 236. Da man die Lebensdauer der Blutkörperchen nicht unmittelbar zu bestimmen vermag, so könnte man sich Aufschlüsse zu verschaffen suchen, indem man anders gestaltete Blutkörperchen in das Blut eines Thieres spritzt und nachsieht, wie lange sie kenntlich bleiben. MOLESCHOTT und MARFELS bemerkten auf diese Weise die kleinen runden Blutscheiben des Schaafes zwischen den grossen und länglichrunden der Frösche noch Monate lang nach der Einführung. BROWN-SÉQUARD sah eben so lange die Blutkörperchen von Hunden, Kaninchen oder Meerschweinchen zwischen den länglichen der Gänse und der Hühner verweilen. Die Auflösung forderte also jedenfalls eine beträchtliche Zeitgrösse. Die Versuche von PANUM [2]) lehrten, dass das Blut der Schaafe und der Kälber nicht im Stande ist, das Leben eines Hundes auf die Dauer zu unterhalten. Belebt es auch ein solches Thier nach einem Blutverluste, so wird es doch bald theils durch Blutaustritt und theils durch

---

ein, so enthielt dieses zuletzt $x-p+\beta$ Volumenseinheiten und gab die Zählung der Körperchen q' für jede dieser Volumenseinheiten, so erhält man $(x-p+\beta)q'=(x-p)q+\alpha$, weil beide Werthe der absoluten Menge der Blutkörperchen des Thieres nach dem Blutverluste entsprechen, also $x=p-\frac{\alpha-\beta q'}{q-q'}$. Da α und β unbekannt bleiben, so lässt sich auch nicht x aus dieser Gleichung bestimmen. Vernachlässigt man aber die Menge der eingetretenen Lymphkörperchen und denkt sich den Inhalt des Gefässsystems vor und nach dem Aderlasse dem Raume nach gleich, so dass $\alpha=0$ und $\beta=p$ wird, so erhält man $x=p+\frac{pq'}{q-q'}=p\left[1+\frac{1}{\frac{q}{q'}-1}\right]$. Setzt man die relativen Fehler der zweiten Zählung $\pm\gamma$, so wird γ auf x um so mehr einwirken, je grösser sein Werth und je bedeutender die abgelassene Blutmenge ist.

[1]) E. LEYDEN und PH. MUNK, Med. Centralblatt 1864. S. 659. Vgl. auch Die acute Phosphorvergiftung. Berlin 1865. 8. S. 72, 120 und 142.

[2]) L. PANUM, Experimentelle Untersuchungen zur Physiologie und Pathologie der Embolie, Transfusion und Blutmenge. Berlin 1864. 8. S. 204—207.

Auflösung von Blutkörperchen nutzlos gemacht. Die Nebenbedingung, ob das fremde Blut nur als eine geringe Menge von Ballast in der hinreichenden Blutmenge des Thieres kreist oder diese ersetzen soll, scheint einen wesentlichen Einfluss auf den Bestand der Fremdlinge auszuüben. Die Blutkörperchen des gesunden Thieres haben wahrscheinlich ebenfalls eine kürzere durchschnittliche Lebensdauer als jene nutzlosen Bestandtheile.

§. 237. Aendert sich schon die mechanische Mischung der weissen und der rothen Blutkörperchen mit ihrem Aufenthaltsorte in den dünnsten Blutgefässen (§. 217), mit den verschiedenen Gefässprovinzen (§. 231) und mit den äusseren Nebenbedingungen, so können auch andere mechanische Bestandtheile unter krankhaften Verhältnissen hinzukommen. Da man die Schleim-, die Ausschwitzungs- und die Eiterkörperchen gar nicht oder höchstens durch die Erzeugnisse ihres Zerfalles von den weissen Blutkörperchen unterscheiden kann, so lässt sich ein Eitergehalt des Blutes nur dann mit Wahrscheinlichkeit annehmen, wenn sich die mit freiem Auge kenntlichen Merkmale und die grosse Zahl farbloser Körperchen im Blute zur Fällung des Urtheils verbinden. Man findet bisweilen im Blute Gerinnsel von der Grösse der kleinsten mikroskopischen Körnchen bis zu der von verstopfenden Massen. Plattenförmige Gestalten derselben bilden die von NASSE sogenannten Faserstoffschollen. Zufällig beigemengte Epithelialblättchen wurden nicht selten für diese gehalten. Die Fette sind gewöhnlich in der Blutflüssigkeit gelöst. Der reichliche Genuss fettiger Nahrung kann aber einen so bedeutenden Ueberschuss von Fettmassen erzeugen, dass eine gewisse Menge von ihnen einen mechanischen Bestandtheil des Blutes in der Form sehr kleiner Körnchen oder Tropfen der Uebersättigung wegen bildet. Sie schwinden dann oft wiederum nach wenigen Stunden. Es kommt in Thieren, die Muttermilch nehmen, vor, dass selbst weisse Milchstreifen, wie RUDOLPHI schon bemerkte, dem Blute des Kopfes beigemengt erscheinen. Erzeugt ein grosser krankhafter Fettgehalt des Blutes eine Emulsion mit dem Serum, so dass dieses desshalb eben so weiss als der Milchsaft wird, so hat man ächtes chylöses Serum[1]). Man hat dieses jedoch wahrscheinlich oft mit dem Falle

[1]) Von einem scheinbar ähnlichen, doch immer noch zweifelhaften Falle bei einem Mädchen spricht OLDENBURG in einem Briefe an SPINOZA. Siehe B. DE SPINOZA, Opera philosophica omnia. Stuttgardiae 1830. 8. p. 552. TIGRI (A. TIGRI Sulla Emoliposi

verwechselt, in dem sich Globulin in körniger Form in dem Serum niederschlug. Das dunkele Gesichtsfeld des Polarisationsmikroskopes lässt bisweilen leuchtende, sehr kleine Körperchen von wahrscheinlich krystallinischer Beschaffenheit erkennen. Man kann meist nicht entscheiden, ob diese Gebilde erst durch die Verdunstung gefällt wurden oder nicht. Sollte das Blut so viel Gallenfett oder solche Mengen anderer krystallisationsfähiger Massen enthalten, dass sie einen mechanischen Bestandtheil der Uebersättigung wegen bilden, so würde das Polarisationsmikroskop die geringsten Spuren nachweisen, es sei denn, dass die Krystalle zu dem regulären Systeme gehörten, wie dieses bei dem Kochsalze der Fall ist, und alle inneren Spannungen mangelten.

§. 238. Wir haben §. 217 gesehen, dass die Bewegung allein die regelrechte Beschaffenheit des Blutes erhalten kann, weil sie die Hauptbedingung der mechanischen Mischung von Blutflüssigkeit und Festgebilden ausmacht. Die Ruhe führt aber nicht bloss zu der Senkung der specifisch schwereren Blutkörperchen, sondern auch zu der Ausscheidung des Faserstoffes oder eines im Leben in der Blutflüssigkeit gelösten Eiweisskörpers [1]). Die Gerinnung oder die Coagulation des Blutes kommt auf diese Weise zu Stande. Da die Senkung der Blutkörperchen und der Absatz des Faserstoffes gleichzeitig eingreifen, so weicht das Endergebniss nach Maassgabe des Geschwindigkeitsunterschiedes beider Vorgänge ab. Der Faserstoff pflegt sich schnell auszuscheiden und daher noch Blutkörperchen in allen Höhen der Flüssigkeit gefangen zu nehmen. Aeltere Forscher haben bisweilen die hierbei zufällig auftretenden Ortsveränderungen der Blutkörperchen als Lebensbewegungen mit Unrecht angesehen [2]). Das Ganze bildet im Anfange eine ununterbrochene lederartige Masse, die sich zuerst in der Nähe der festen Wände (§. 62) und später an den übrigen Orten erzeugt. Man hat in der Folge eine zweite Veränderungsstufe, indem die Zusammenziehung

e sopra altre maniere di Trasformazione dei globuli rossi. Torino 1865. 8. p. 2—20) glaubt eine unmittelbare Umwandlung von Blutkörperchen in Fettgebilde bei Blutergüssen und in vielen Fällen von Fettentartung annehmen zu können.

[1]) Nicht dieser Umstand, wie Sauvages (Histoire de l'Académie de Berlin. 1755. Berlin 1757. 4. p. 55) annahm, sondern die §. 4 erwähnten Verhältnisse sind der Grund, wesshalb die Haargefässe vorhanden sind und das Herz die grossen Widerstände derselben überwinden muss.

[2]) Siehe die Zusammenstellung bei J. Heinemann, De motibus, qui ante et inter coagulationem sanguinis per microscopium observantur. Regiomonti 1832. 8. p. 5 fgg.

des festen Körpers eine Flüssigkeit, das Blutserum oder Blutwasser auspresst und das Uebrige als Blutkuchen (Placenta sanguinis, Cruor, Crassamentum) zurückbleibt. Das Serum ist daher Blutflüssigkeit (Liquor sanguinis, Plasma) weniger den ausgeschiedenen Faserstoff. Seine Klebrigkeit bedingt es, dass nicht selten in ihm eine verhältnissmässig geringe Menge von Blutkörperchen, die sich aus irgend einem Grunde beimischten, lange Zeit schweben bleibt. Der Blutkuchen besteht aus dem Faserstoffe und den von seiner Masse eingeschlossenen Festgebilden des Blutes. Da diese fast alle rothen Blutkörperchen umfassen, so besitzt auch in der Regel der Blutkuchen eine rothe Färbung. Der Einfluss des Sauerstoffes der Atmosphäre macht häufig die ihr benachbarten Schichten des Blutkuchens des venösen Aderlassblutes hochroth, während die ihm unzugänglicheren Lagen dunkel bleiben.

§. 239. Verkleinert sich die relative Geschwindigkeit des Gerinnungsprocesses, so können sich die Blutkörperchen bis zu einer gewissen Tiefe senken, ehe aller Faserstoff ausgeschieden worden. Man erhält daher eine untere rothe und eine obere gelbe Abtheilung des Blutkuchens, weil jene eine grosse Menge rother Blutkörperchen und diese gar keine oder verhältnissmässig wenige enthält. Der Name der Speckhaut (Crusta adiposa), den man dieser Lage gegeben hat, ist eben so unpassend als der der Entzündungshaut (Crusta inflammatoria) der älteren Aerzte, weil sie weder von Fett herrührt, noch ein eigenthümliches Merkmal der Entzündung bildet, oft genug bei dieser fehlt und nicht selten in dem gesunden Blute vorkommt. Sie liefert eben so wenig ein Zeichen der Schwangerschaft. Man kann sie vielmehr unter den verschiedensten Nebenbedingungen antreffen. Es wäre möglich, dass die ursprüngliche Beschaffenheit des Faserstoffes, wie dieses z. B. VIRCHOW[1]) für das Blut bei Entzündungen der Athmungswerkzeuge annimmt, eine langsamere Gerinnung desselben zur Folge habe. Setzt man einen die Gerinnung verzögernden Körper, wie Kali oder Natron, Salpeter oder unterkohlensaures Natron dem Blute zu, so begünstigt man natürlich die Bildung einer weissen Abtheilung des Blutkuchens. Man erreicht das Gleiche, wenn man z. B. das warme Pferdeblut in einem hölzernen Gefässe auffängt. Da die schlechte Wärmeleitung des Holzes die Abkühlung verlangsamt, so kann sich

[1]) Siehe hierüber M. R. LEVI, Die Cellularpathologie in ihren Grundlagen und Anwendungen. Uebersetzt von BERGER. Braunschweig 1865. 8. S. 215—217.

der grössere Theil der rothen Körperchen senken, ehe sich der Faserstoff vollständig ausgeschieden hat. Das Blut eines und desselben Kranken liefert hiernach möglicher Weise eine Entzündungshaut oder nicht, je nachdem man es in einem Gefässe von Zinn, Glas oder Holz auffängt. Die Leichtigkeit, mit der sich ein solcher gelber Blutkuchen erzeugt, muss aber in umgekehrtem Verhältnisse zur Klebrigkeit der Blutflüssigkeit unter sonst gleichen Verhältnissen stehen, weil die Langsamkeit des Sinkens der Blutkörperchen mit dem Werthe der inneren Reibung (§. 177) wächst. Die Form, die Grösse und die Eigenschwere der Blutkörperchen liefern fernere Bedingungsglieder, weil die Senkung um so rascher beendigt wird, je geringer die Anheftung und die äussere Reibung und je grösser die Eigenschwere der Festgebilde ausfallen.

§. 240. Da sich der Faserstoff an anderen dichten Massen am Leichtesten ausscheidet (§. 238), so umgibt sich jedes Blutkörperchen mit einer Atmosphäre desselben. Er kann leicht die beiderseitigen Aushöhlungen, wie sie in dem Menschen und den Säugethieren vorkommen, mehr oder minder ausfüllen. Der hohe Grad von Adhäsion von Faserstoff zu Faserstoff erleichtert dann das gegenseitige Zusammenkleben der auf diese Art umhüllten Blutkörperchen. Da aber die obere und die untere Fläche eines jeden von ihnen eine grössere Ausdehnung, als die der Dicke entsprechende Randfläche besitzt, so bietet die durch jene erzeugte Verklebung einen grösseren Trennungswiderstand dar. Dieses ist der Grund, wesshalb die Anhäufungen der Blutkörperchen des geronnenen Blutes des Menschen und der Säugethiere die Form von Geldrollen darbieten. Gelingt es, sie zu zerreissen, so sieht man oft genug, wie sich die dazwischen liegende Faserstoffmasse fadenförmig auszieht. Die kleinere Berührungsfläche der dreiachsigen Blutkörperchen (§. 222) der Vögel, der Reptilien und der Fische, welche die Hervorragung des Kernes erzeugt, begünstigt die Bildung der Geldrollen in geringerem Grade.

§. 241. Die gelbliche Farbe des Blutserums lehrt schon, dass diese Flüssigkeit den rothen Farbestoff der Blutkörperchen nicht auszieht. Man kann dasselbe für den Theil der Flüssigkeit, der in dem Blutkuchen zurückgehalten wird, der also immer in unmittelbarer Berührung mit den Körperchen steht, beweisen, wenn man sie von diesen durch die Wirkung der Fliehkraft[1]) trennt. Da diese

[1]) Ist ein Körper aus irgend einem Grunde gezwungen, sich in einer krummlinigen Bahn zu bewegen, so kann man die treibende Kraft (und eben so die von ihr abhän-

Eigenthümlichkeit von der Ausscheidung des Faserstoffes nicht abhängt, so erklärt sich hieraus, wesshalb auch der Blutfarbestoff des lebenden Blutes fast ausschliesslich an die Blutkörperchen gebunden bleibt, die Blutflüssigkeit dagegen unter den Vergrösserungen, deren wir uns zur Untersuchung des Capillarblutlaufes bedienen, weiss oder kaum gelblich erscheint. Verdünnt man dagegen das den rothen Blutkuchen umgebende Serum mit Wasser, so röthet es sich, weil dann die Blutkörperchen einen entsprechenden Theil ihres Farbestoffes abgeben, so wie die Dichtigkeit der umgebenden Flüssigkeit unter eine gewisse Minimalgrenze gesunken ist. Etwas Aehnliches wiederholt sich bisweilen in dem lebenden Körper. Blutergüsse entfärben sich, so wie die sie durchdringende Flüssigkeit nicht denjenigen Dichtigkeitsgrad und die Beschaffenheit überhaupt

---

gende Geschwindigkeit) in jedem Elemente in eine Tangentialkraft längs der Tangente und in eine Centripetal- oder eine Normalkraft in Bezug auf jene, die längs des für den gegebenen Punkt gültigen Krümmungshalbmessers dahingeht, zerlegen. Die erstere entspricht dem Zustande, der sich vermöge der Trägheit des Körpers herstellen würde, wenn er plötzlich von jeder äussern Kraft befreit würde. Die zweite dagegen lenkt ihn von seiner durch die erste bestimmten geradlinigen Bahn gegen den Mittelpunkt des Krümmungskreises ab. Da aber Wirkung und Gegenwirkung nach dem Newton-Leibnitz'schen Grundsatze überall gleich sind, so erleidet z. B. der Befestigungsfaden, der eine Kugel zwingt, sich in einem Kreise zu drehen, eine der Normalkraft gleiche Spannung in centrifugaler Richtung. Man nennt diese die Centrifugalkraft, die Schwung- oder die Fliehkraft, begeht jedoch häufig den Irrthum, dass man sie der Wirkung des bewegten Körpers und nicht der der zwingenden Ursache zuschreibt. (Siehe z. B. hierüber Duhamel, Mechanik. Uebersetzt von Wagner. Bd. I. S. 267.) Nennt man m die Masse des Körpers, v die Geschwindigkeit desselben und r den Krümmungshalbmesser in dem gegebenen Punkte, so hat man für die Grösse der Fliehkraft, wie schon Huyghens (Horologium oscillatorium. Opera Ed. 's Gravesande T. I. 1751. 4. p. 188. Opera posthuma. Tom. II. 1728. 4. p. 114 ff.) lehrte.

$$f = \frac{mv^2}{r} \tag{65}$$

(Siehe z. B. die Herleitung bei Kunzek, Studien. S. 162—164. Mousson, Physik. Bd. I. S. 68. Külp, Physik. Bd. I. 164. 165.) Geht die Bewegung in einem Kreise vor sich und nennt man t die Zeit eines Umlaufes, so erhält man, da $v = \frac{2\pi r}{t}$ ist,

$$f = \frac{4m\pi^2 r}{t^2} \tag{66}$$

Diese auch dem konischen Pendel zum Grunde liegenden Formeln finden ihre Anwendung auf die Schwungmaschinen, deren man sich unter Anderem bedient, um die Flüssigkeiten aus mechanischen Mischungen mit festen Körpern zuentfernen. Denkt man sich eine solche in einem porösen Behälter eingeschlossen, der an der Spitze eines sich im Kreise drehenden Stabes befestigt ist, so wird sie mit um so grösserer lebendiger Kraft (§. 127 Anmerk. 7) herausgeworfen, je schneller man dreht.

besitzt, welche die Schwerlöslichkeit des Blutfarbestoffes fordert. Die gewöhnlichen Aussonderungen aus dem Blute sind der geringen Färbung der Blutflüssigkeit wegen farblos. Wird z. B. der Urin blutroth gefärbt, so rührt dieses in der Regel von Blutkörperchen her, die durch die Berstung von Blutgefässen beigemengt worden. Es ist aber auch möglich, dass sich die Zusammensetzung der Blutflüssigkeit krankhafter Weise so ändert, dass sich eine grössere Menge von Blutfarbestoff in ihr auflöst und sich daher auch einzelne Absonderungen, wie z. B. der Schweiss, mehr oder minder röthen. Die blosse Wasserverdünnung des Blutes pflegt diese Erscheinung in dem lebenden Geschöpfe noch nicht herbeizuführen. Spritzt man grosse Wassermengen in die Drosselblutader desselben ein, so besitzen die Ausschwitzungen, die hierdurch in den serösen Höhlen und dem Bindegewebe erzeugt werden, eine gelbliche oder wenigstens keine tiefrothe Farbe. Der Grund liegt darin, dass der Tod früher eintritt, als die für eine reichliche Auflösung des Farbestoffes nöthige Wassermasse dem Blute beigemischt worden. Dasselbe wiederholt sich bei der krankhaften Vermehrung der serösen Flüssigkeiten oder der Durchtränkungsmasse des Unterhautbindegewebes, die man mit dem Namen der W a s s e r s u c h t e n bezeichnet.

§. 242. Das S c h l a g e n d e s B l u t e s kann es bewirken, dass das Serum eine gewisse Menge von Blutkörperchen einschliesst. Peitscht man z. B. das aus einer Ader fliessende Blut mit einer Ruthe, so setzen sich Faserstoffmassen, die oft eine nur verhältnissmässig geringe Menge von Blutkörperchen gefangen nehmen, an den einzelnen Holzstengeln an. Die Unruhe erzeugt ein Serum, in dem eine grosse Zahl von Blutkörperchen schweben und aus dem sie sich später allmälig senken, so wie die Bewegung aufgehört hat. Diese Anschauungsweise führt zu naturgemässeren Auffassungen in mehrfacher Beziehung. Sie lehrt z. B., dass es nicht richtig war, wenn man den an der Ruthe haftenden Faserstoff als reinen Faserstoff und die durch die Filtration des Serum getrennten Blutkörperchen als die Gesammtmenge derselben in quantitativen Blutanalysen ansah. Das blosse Serum eignet sich nicht zur T r a n s f u s i o n d e s B l u t e s, weil es allein die gesammte verloren gegangene Blutmasse nicht ersetzen kann und die Haupteinflüsse sogar von den Blutkörperchen herrühren. Man muss desshalb geschlagenes und allenfalls grob filtrirtes Blut zur Einspritzung nehmen, um Blutkörperchen zuzuführen und zugleich die Gefahren der G e f ä s s v e r s t o p f u n g oder der E m b o l i e durch geronnenen Faserstoff zu verhüten. Man pflegt

dabei ausser Acht zu lassen, dass das geschlagene Blut ärmer an Blutkörperchen als das lebende ist und daher eine bestimmte Menge von jenem einen geringeren Aequivalentwerth, als die gleiche des fehlenden lebenden Blutes hat. Man muss daher den Verlust durch die eingespritzte Menge mehr als ausgleichen.

§. 243. Die schwankenden Werthe, welche die Faserstoffbestimmungen derselben oder verschiedener Blutarten nicht selten liefern, deuten schon an, dass man es hier mit keinem von vorn herein charakteristischen Körper zu thun hat, der sich unter gegebenen Nebenbedingungen in fester Gestalt vollständig ausscheidet, sondern mit einer chemisch veränderten oder auch nur allotropischen, schwerer löslichen Form, deren Bildung mit den äusseren Einflüssen wechselt. ALEX. SCHMIDT [1]) schliesst aus seinen über den Gerinnungsvorgang angestellten Untersuchungen, dass der Körper, der diese Veränderung herbeiführt, das Globulin von BERZELIUS oder DENIS, also der Eiweisskörper sei, der einen Hauptbestandtheil der Blutkörperchen ausmacht. Wir wollen den Gerinnungserreger [2]) (fibrinoplastische Substanz nach SCHMIDT), diejenige Verbindung nennen, deren Anwesenheit die Gerinnung erzeugt, und Gerinnungsmasse (fibrinogene Substanz nach SCHMIDT) die, welche in den geronnenen Faserstoff übergeht. ANDREW BUCHANAN [3]) hatte schon gefunden, dass die Hydroceleflüssigkeit eine geronnene Masse nach dem Zusatze einer kleinen Menge des Wasserauszuges eines Blutgerinnsels abscheidet. SCHMIDT zeigte zunächst, dass man Milchsaft des Pferdes rascher zur Gerinnung bringt, wenn man faserstofffreies Blut desselben Thieres beimengt. Das gleiche Verfahren erzeugt feste Ausscheidungen in Ausschwitzungsflüssigkeiten, z. B. des Wasserbruches, die sonst nicht von selbst gerinnen. Der Versuch misslingt nur, so wie sich reichliche Mengen Faserstoff schon im Leben ausgeschieden haben. Die meisten thierischen Flüssigkeiten, wie die Anfangslymphe, wenn sie nicht von selbst gerinnt, die Gelenkschmiere, die wässrige Feuchtigkeit des Auges erweisen sich als gerinnungsfähig in Berührung mit Gerinnungserregern.

---

[1]) AL. SCHMIDT in REICHERT und DU BOIS' Archiv. 1861. S. 545—587. 1862. S. 428—469. 533—564 u. 675—721 und VIRCHOW's Archiv. Bd. XXIX. 1864. S. 1—8.

[2]) Die wiederholte Behandlung des Blutes mit Chlornatriumlösung und später mit Wasser hinterlässt nach HOPPE-SEYLER (Handbuch der chemischen Analyse. 2. Auflage. Berlin 1865. S. S. 305) eine Gallertmasse, welche die Merkmale eines Gerinnungserregers darbietet.

[3]) Siehe Schmidt's Jahrb. Bd. CXXII. 1864. S. 157.

§. 244. Die Blutkörperchen sind nicht die einzigen Gebilde, welche die Gerinnung herbeiführen. Das Blutserum besitzt diese Eigenschaft in schwächerem Maasse. Das Hämatokrystallin, mithin auch die Blutkrystalle, bilden einen kräftigen Gährungserreger. SCHMIDT nimmt an, dass sie aus einer Mischung von Blutfarbestoff mit dem Globulin von BERZELIUS oder dem Serumcasein von PANUM bestehen. Nur das letztere stellt den Gerinnungserreger dar. Mag man es mittelst des Durchleitens von Kohlensäure aus den Blutkrystallen oder durch dieses Verfahren oder durch einen Zusatz geringer Mengen von Essigsäure aus dem mit dem Zehn- bis Zwölffachen Wassers verdünnten Serum dargestellt haben, so besitzt es immer eine nachdrückliche Gerinnungswirkung, nachdem es in verdünnter Natronlauge aufgelöst worden. Die Wasserverdünnung und Kohlensäuredurchleitung liefern einen ähnlichen Körper aus dem Milchsafte, der Eiterflüssigkeit, dem Speichel, den Augenfeuchtigkeiten und aus manchen mit wenig Blutgefässen versehenen Geweben, wie denen des Nabelstranges oder der Hornhaut. Die gerinnungserregenden Einflüsse dieser Massen unterliegen jedoch vielen Schwankungen. Man hat überhaupt noch keinen klaren Begriff, ob und wodurch sich die Zusammensetzung des gerinnenden und des die Gerinnung erregenden Körpers unterscheiden und ob der ganze Einfluss aus untergeordneten Nebenbedingungen, z. B. einer andern Gruppirung der Salze hervorgeht.

§. 245. Der Sauerstoff der Atmosphäre soll die Gerinnung nach älteren Angaben begünstigen[1]), sich dagegen in dieser Hinsicht nach SCHMIDT gleichgültig verhalten. Die Kohlensäure lässt sie später zu Stande kommen. Das tief dunkelrothe Blut von Erstickten scheint desshalb auch länger flüssig zu bleiben. Freie Säure, zu viel freies Alkali oder eine zu starke Wasserverdünnung der Globulinlösung verzögert oder vermindert die Gerinnungswirkung. Sie leidet auch durch den gleichzeitigen Einfluss der Luft und der Wärme, nicht aber, wie es scheint, der letzteren allein, so lange diese keinen zu hohen Grad erreicht, und wird durch die Kälte verzögert. Die Anwesenheit einer irgend bedeutenden Menge von Luft bildet kein nothwendiges Bedingungsglied der Gerinnung, da sie in dem luftverdünnten Raume oder in dem unter Quecksilber aufgefangenen Blute wie gewöhnlich vor sich geht. HEWSON[2]) und

[1]) Siehe hierüber NASSE in R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie. Bd. I. Braunschweig 1842. 8. S. 109—113.

[2]) W. HEWSON, Vom Blute. Nürnberg 1780. 8. S. 19.

in neuerer Zeit BRÜCKE hoben mit Recht hervor, dass sich das Blut länger flüssig erhält, wenn es in dem Herzen oder den Gefässen eingeschlossen bleibt. SCHMIDT glaubt annehmen zu können, dass der Einfluss dieser lebenden Gewebtheile den Gährungserreger aus unbekannten Ursachen nach und nach zu zerstören vermag. Er fand z. B., dass Serum des Rindsblutes, das 16 Stunden lang in einem klopfenden Schildkrötenherzen verweilt hatte, die Fähigkeit der Gerinnungserregung nicht mehr besass. Da aber diese in dem Blute des lebenden Geschöpfes mit grösstem Nachdrucke fortdauert, so muss entweder ein anderer Grund jene Eigenthümlichkeit herbeiführen oder die von dem Einflusse der Gefässwände abhängige Zerstörung im Leben weit geringer, als die gleichzeitige Erzeugung von Gerinnungserregern ausfallen. LISTER fand, dass das Blut in einem grossen, aus dem Körper genommenen Blutgefässe 8 bis 10 Stunden mehr oder minder flüssig blieb. Stach man dagegen eine Nadel durch, so wurde sie bald von einem Gerinnsel umgeben. Fremde Körper verhalten sich daher activ, die Wände der Blutgefässe dagegen aus unbekannten Gründen mehr oder minder passiv zu dem Gerinnungsvorgange.

§. 246. Man weiss nicht, wovon die Eigenthümlichkeiten der Gerinnungsmasse herrühren. DENIS stellt einen Körper, den er Plasmin nennt, aus dem Blute des Menschen dar, indem er es in eine gesättigte Glaubersalzlösung von ungefähr $^1/_7$ seines Volumens fliessen lässt. Die Gerinnung bleibt dann lange aus. Die Blutkörperchen senken sich nach einiger Zeit zu Boden. Filtrirt man die darüber stehende, mit der Pipette abgehobene Flüssigkeit und setzt ihr Kochsalz zu, so scheidet sich das Plasmin in durchscheinenden Flocken aus. Löst man es feucht in 15 bis 20 Theilen kalten Wassers, so verwandelt sich das Ganze nach einiger Zeit in eine Gallerte, die dem Faserstoffe nach dem Auspressen ähnlich sieht[1]). Diese Erfahrung kann noch nicht die Hauptfrage entscheiden, ob noch ein eigener flüssiger Faserstoff neben dem Eiweisskörper des Blutserums vorhanden ist oder ob das, was man bisher Faserstoff nannte, nur eine unlösliche Verbindung des Serumeiweisses als Gerinnungsmasse mit dem Globulin als Gerinnungserreger darstellt. Andere Gründe machen die zweite Auffassung um Vieles wahrschein-

---

[1]) Dieses Plasmin ist auch schon LIEBIG bei seinen Blutuntersuchungen vorgekommen. Siehe NASSE a. a. O. S. 111.

licher als die erste. Leitete SCHMIDT Kohlensäure durch das verdünnte und langsam gerinnende Plasma des Pferdeblutes (§. 239), so schlug sich zuerst der Gerinnungserreger nieder. Die Fällung der Gerinnungsmasse folgte nach, so dass späterhin die Flüssigkeit nicht mehr erstarrte. Brachte SCHMIDT diese mit einem natürlichen Gerinnungserreger in Verbindung, so trat die Gerinnung jedes Mal ein. Sie kam nur selten zu Stande, wenn man eine künstliche alkalische Lösung der Gerinnungsmasse nahm. Die Ansicht, dass nicht bloss der Gerinnungserreger, sondern auch die Gerinnungsmasse Globulin sei, hat wenig Wahrscheinlichkeit für sich. Es handelt sich hier vermuthlich um feinere Beziehungen, als unsere gegenwärtige organische Chemie verfolgen kann.

§. 247. Die Diffusionsversuche von SCHMIDT lehrten, dass der in den Blutkörperchen enthaltene Gerinnungserreger aus diesen treten und eine poröse Scheidewand durchdringen kann. Enthält die umgebende Flüssigkeit eine gerinnungsfähige Masse, so geht er in reichlicherer Menge über, als wenn dieses nicht der Fall ist. Wäre das Gleiche im Leben der Fall, so müsste immer die Blutflüssigkeit die serösen Absonderungen und die Wassersuchtflüssigkeiten zur Gerinnung bringen. Da das Gegentheil die Regel bildet, so hat man hier vermuthlich den Fall, dass sich die die Diffusion bestimmende Anziehung (§. 93 fgg.) in dem kreisenden Blute anders als nach dem Tode gestaltet. Dieses erinnert an die Erfahrung von GERLACH, nach welcher eine Karminlösung keinen Theil des noch schwingenden Flimmerepitheliums färbt, die Kerne der abgestorbenen Zellen dagegen nachdrücklich röthet.

§. 248. Das stockende Blut gerinnt im lebenden Körper, wenn auch im Ganzen langsamer, als ausserhalb desselben. Der Unterschied wird wahrscheinlich durch die Wärme der warmblütigen Geschöpfe begünstigt. Da die serösen Flüssigkeiten des gesunden Körpers im Leben nie und meist auch nicht nach dem Tode erstarren und das Gleiche in den krankhaften flüssigen Ausschwitzungen häufig wiederkehrt, so müssen auch hier noch Bedingungsglieder, die man nicht genau kennt, wesentlich eingreifen. Man kann sich zwar vorstellen, dass der Gerinnungserreger des Blutes auf diese Flüssigkeiten im Leben eben so wenig wirkt, als auf die Blutflüssigkeit. Es liesse sich aber erwarten, dass er in der Leiche durch die thierischen Häute in ähnlicher Weise, als in den künstlichen Endosmoseversuchen (§. 247) durchschwitzen wird. Man kennt

noch nicht genau die Gründe[1]), wesshalb das Blut der Regeln ausserhalb des Körpers nicht gerinnt und das Gleiche auch oft genug an dem blutigen Inhalte der todten Gebärmutter bemerkt wird, aus welcher Ursache stockende Blutmassen in dem Herzen und den Blutgefässen langsamer erstarren und die Gerinnsel roth oder gelb, je nach der Schnelligkeit dieser Veränderung erscheinen.

§. 249. Wir haben schon §. 239 gesehen, dass Alkalien und einzelne alkalische Salze die Gerinnung merklich verzögern. POISEUILLE hob zuerst hervor, dass diese Eigenschaft dem unterkohlensauern Natron, nicht aber dem unterkohlensauern Kali vorzugsweise zukommt. Er brachte daher eine Auflösung jenes Salzes über dem einen Schenkel der Quecksilbersäule seines Hämodynamometers an, um auf diese Weise die Gerinnung des in sie vordringenden Blutes zu verzögern. Man pflegt im Allgemeinen anzunehmen, dass die Chloralkaloide, also auch das Kochsalz, und die schwefel-, die phosphor-, salpeter-, bor-, kohlen-, essig-, weinstein- und citronensauern Verbindungen des Kali, des Natron, des Ammoniak, des Baryts und der Magnesia, und die Cyanmetalle die Gerinnung des Blutes in geringen Mengen beschleunigen, sie dagegen in grösseren hindern. Metallsalze, die das Eiweiss fällen, sollen zugleich den Faserstoff niederreissen und desshalb das Blut in ein hell- oder dunkelrothes, braunes oder beinahe schwarzes Magma verwandeln. Diese und ähnliche, die Gifte und die Arzneistoffe betreffenden Erfahrungen[2]) können auf keine höhere Bedeutung Anspruch machen, weil meist die gleichzeitig thätigen wesentlichen Nebenbedingungen unbekannt bleiben. Passende Zusätze von Säuren oder von kaustischen Alkalien besitzen das Vermögen, das Blut lange Zeit oder immer flüssig zu erhalten. Reines Wasser beschleunigt nach NASSE[3]) die Gerinnung, wenn es in kleinen Mengen dem Blute beigemengt worden. Diese Wirkung erhält sich am Deutlichsten, bis das Volumen des Wassers das Doppelte von dem des Blutes beträgt. Gleicht es dagegen dem Acht- bis Vierzigfachen, so verzögert oder hemmt es die Gerinnung. Zuckerlösung, Harn, Milch oder Blutserum

---

[1]) Die Annahme, dass es seinen Faserstoff in der Form kleiner Flocken innerhalb der Gebärmutter absetze, fordert noch den Nachweis, dass diese in dem Menstrualblute als mechanische Gemengtheile vorkommen oder sich bald wiederum auflösen.

[2]) Eine ausführliche Zusammenstellung der hierher gehörenden Beobachtungen gibt NASSE a. a. O. S. 116—120. Vgl. auch L. HAMBURGER, Experimentorum circa sanguinis coagulationem specimen primum. Berolini 1839. 8. p. 13—46.

[3]) NASSE a. a. O. S. 116.

können sie ebenfalls später oder unvollkommener eintreten lassen. Die Annahme von RICHARDSON, dass der Austritt von Ammoniak die wesentliche Bedingung des Gerinnungsvorganges bildet, widerlegt sich schon dadurch, dass merkliche Mengen von Dämpfen dieses Körpers bei gewöhnlicher Wärme nicht davongehen, sondern erst bei 50° C. nach THIRY auszutreten anfangen. Man muss aber frisch bereitetes Hämatoxylinpapier und nicht Salzsäure zur Prüfung gebrauchen, weil weisse Dämpfe, die man früher als Salmiakdämpfe deutete, auch schon bei reichem Wassergehalte der Luft auftreten.

2. Physikalische Eigenschaften.

§. 250. Man wird die Eigenschwere des Blutes am Besten bestimmen, wenn man es unmittelbar aus der Ader in ein Fläschchen von bekanntem Rauminhalte fliessen lässt und das Ganze möglichst rasch abwägt. Kennt man das Gewicht des gleichen Inhaltes destillirten Wassers bei der Temperatur seiner grössten Dichtigkeit, also bei 3°,86 C., so gibt der Quotient der Gewichtswerthe des Blutes und des Wassers die Eigenschwere des ersteren an. Da ein Cubikcentimeter Wasser von 3°,86 C. 1 Grm. wiegt, so zeigt die Zahl, die dem Gewichte von einem Cubikcentimeter Blut in Grammen entspricht, die Grösse der Eigenschwere desselben unmittelbar an. Man hat dann natürlich dabei die Fehler, welche die Temperatur des Blutes einführt. Sollte aber eine Reihe von Wägungen, die bei verschiedenen Wärmegraden angestellt wurden, zeigen, dass man berechtigt sei, einen nahezu beständigen mittleren Wärmecoëfficienten anzunehmen, so liesse sich der Werth der Eigenschwere, welcher der Wärme des lebenden Blutes entspricht, durch Rechnung finden [1]).

---

[1]) Feinere Verbesserungen, wie z. B. die der Gewichtsabnahme in der Luft (§. 41) würden bloss Spielereien bilden, weil die durch sie erzeugten Aenderungen die Grenzen der Beobachtungsfehler nie überschreiten. Man muss dagegen bei genaueren Bestimmungen der Eigenschwere von Flüssigkeiten berücksichtigen, dass die Einfüllung derselben in das Maassfläschchen die hier befindliche Luft verdrängt.

Das Gewicht dieser beiden sei $P = p + m$, wobei p das des Fläschchens und m das der in ihm enthaltenen Atmosphäre bezeichnet. v gleiche dem Volumen der letzteren oder dem Inhalte des Hohlraumes des Fläschchens. Drückt b den gleichzeitigen Barometerstand in Millimetern, t die Wärme der Luft in Celsiusgraden und k das der Volumenseinheit der trockenen Atmosphäre bei 760 Mm. Druck und 0° C. aus, so hat man mit

§. 251. Die Untersuchungen, die man über die Eigenschwere des Blutes angestellt, haben sich auf solche zarte Verhältnisse nicht eingelassen. Man vermisst in der Regel die Angabe der Wärme, bei der sie vorgenommen worden und jede genauere Darstellung des eingeschlagenen Verfahrens überhaupt. Die ältere Ansicht, dass das specifische Gewicht des Blutes des Menschen zwischen 1,04 und 1,08, das des Wassers als Einheit genommen, schwanken könne, nimmt wahrscheinlich zu weite Grenzen für den regelrechten Zustand an. Es frägt sich, ob nicht sogar dasselbe für die neuere Voraussetzung von 1,050 bis 1,059 und die Feststellung des wahrscheinlichsten Mittels zu 1,055 bis 1,058 gilt[1]). Die Eigenschwere des hochrothen Blutes soll dabei um 0,001 bis 0,003 geringer als die des dunkelrothen sein[2]). Da übrigens alle Bestimmungen der Eigenschwere bei niedereren Wärmegraden als denen des lebenden

Vernachlässigung des Feuchtigkeitsgrades der Luft $m = vk \frac{b}{760} \frac{1}{1+\alpha t}$, wobei α den Ausdehnungscoëfficienten der Luft für jeden Celsiusgrad bezeichnet.

Wiegt das Fläschchen mit Wasser gefüllt $Q = p + n$, so beträgt das wahre Wassergewicht, abgesehen von allen Verbesserungen, $Q - P = n - m$. Man erhält aber wiederum $n = vk' \frac{1}{1 \pm \beta t'}$, wenn k' das Gewicht der Volumenseinheit des Wassers bei einer bestimmten zum Grunde gelegten Wärme, z. B. bei $3^0,86$, wo es seine grösste Dichtigkeit besitzt, β der Ausdehnungscoëfficient und t' die Temperatur der Wägung bezogen auf den zum Grunde gelegten Wärmegrad ist.

Da das Blut in ähnlicher Weise $q = vk'' \frac{1}{1 \pm \gamma t''}$, gibt wenn k'' den analogen Werth, wie k und k', γ den wie α und β und t'' den wie t und t' bezeichnet, so hat man für die Eigenschwere $s = \frac{q}{n - m}$ den Ausdruck:

$$s = \frac{k'' \frac{1}{1 \pm \gamma t''}}{k' \frac{1}{1 \pm \beta t'} - k \frac{b}{760} \frac{1}{1 + \alpha t}} \qquad (67)$$

wobei jede weitere Correction der Luft wegen zu keinen merklichen Aenderungen führen würde.

Vernachlässigt man die Wärmeverbesserung und die Luftcorrection, so werden γ, β und k Null. Also $s = \frac{k''}{k'}$. Man erhält k'', wenn man das Gewicht des Blutes in Grammen durch das Volumen desselben in Cubikcentimetern theilt. Bedient man sich eines Fläschchens, das r Cubikcentimeter fasst, so ist $k' = r$ Grm. und die gefundene Gewichtsmenge des Blutes $u = rs$ Grm. Folglich gibt u die Eigenschwere unmittelbar an, wenn $r = 1$ wird.

[1]) Nasse a. a. O. S. 82.

[2]) Nasse a. a. O. S. 169.

Blutes gemacht worden, so wird man am Besten nur 1,05 für allgemeine Folgerungen annehmen. Alle Schlüsse, die man über den Einfluss des Alters und des Geschlechtes auf die Eigenschwere des Blutes gezogen hat, entbehren vorläufig einer sicheren Grundlage. Es versteht sich hingegen von selbst, dass ihr Werth sinken oder steigen wird, je nachdem das Blut durch reichliches Wassertrinken verdünnt oder durch starkes Schwitzen verdichtet worden. Das specifische Gewicht des Blutwassers liegt in der Regel [1]) zwischen 1,025 und 1,030 und durchschnittlich zwischen 1,027 und 1,029. Schwangere sollen nur 1,025, Jünglinge weniger als Erwachsene geben [2]).

§. 252. Die theoretische Bestimmung [3]) gibt ein Mittel, die Grenzen des wahrscheinlichen Werthes der Eigenschwere der Blutkörperchen kennen zu lernen. Die Rechnung zeigt dann, dass er vermuthlich zwischen 1,11 und 1,08 und zwar dem ersten Werthe näher als dem zweiten liegt [4]). Blutkörperchen, die mehr Farbestoff

---

1) Nasse a. a. O. S. 127.

2) Nasse a. a. O. S. 128.

3) Nennt man v' das Volumen und s' die Eigenschwere der Blutflüssigkeit, haben v'' und s'' dieselbe Bedeutung für die Blutkörperchen und ist s''' die Eigenschwere des Blutes, so gibt die Alligationsregel (wie sie schon wahrscheinlich Archimedes für die Krone des Hieron anwandte) die Gleichung:

$$v's' + v''s'' = (v' + v'')\, s''' \qquad (68)$$

Da höchstens die rechte Seite der Gleichung mit Sicherheit bestimmbar ist, so bleiben die Einzelwerthe der linken unermittelt. Man kann also nur eine Diophantische Gleichung aufstellen. Die Eigenschwere der Blutflüssigkeit würde z. B. hiernach fordern

$$s' = s''' \left[1 - \frac{v''}{v'} \left(\frac{s''}{s'''} - 1\right)\right] \qquad (69)$$

und

$$s'' = s''' \left[1 + \frac{v'}{v''} \left(1 - \frac{s'}{s'''}\right)\right] \qquad (70)$$

4) Der Faserstoff erhöht vermuthlich nicht die 1,028 betragende Eigenschwere des Blutwassers des Menschen auf 1,035. Man kann daher $s' = 1,03$ mit ziemlicher Sicherheit für die Blutflüssigkeit annehmen. Ebenso lässt sich $s''' = 1,057$ als ungefährer Mittelwerth voraussetzen. Betrüge nun das Gesammtvolumen der Blutkörperchen eben so viel als das der Blutflüssigkeit, so dass $\frac{v'}{v''} = 1$ wäre, so gäbe (70) $s'' = 1,084$. Wollte man dagegen das Gesammtvolumen der Blutkörperchen zu einem Dritttheile von dem der Blutmasse annehmen (§. 229), so dass $\frac{v'}{v''} = 2$ würde, so hätte man $s'' = 1,110$. Man wird daher wahrscheinlich nicht irren, wenn man sich vorstellt, dass die durchschnittliche Eigenschwere der Blutkörperchen bei 1,1 liegt. Man pflegt diesen Werth zu 1,0885 bis 1,0889 für das Blut der Männer und zu 1,0880 bis 1,0886 für das der

auf das gleiche Volumen enthalten, besitzen vermuthlich auch eine grössere Eigenschwere. Man findet zugleich, dass das Verhältniss des specifischen Gewichtes des Blutes zu dem Unterschiede der Eigenschweren der Blutkörperchen und der gesammten Blutmasse grösser sein muss, als das des Gesammtvolumens der Blutkörperchen zu dem der Blutflüssigkeit [1]). Hätte man eine Zusatzflüssigkeit von bekannter Eigenschwere, die, dem Blute beigemischt, keine Verdichtung und keine Veränderung überhaupt erzeugt, so liessen sich die Gesammtvolumina und die Eigenschweren der Blutflüssigkeit und der Blutkörperchen aus einer Reihe von Verdünnungsversuchen finden [2]).

§. 253. Rechnet man den ausgeschiedenen Faserstoff zu dem Eiweisse des Blutserum, so bildet die Blutflüssigkeit eine ungefähr achtprocentige Eiweisslösung. Dieses und der nahezu 0,9% betragende Salzgehalt lassen erwarten, dass die Blutflüssigkeit einen nicht unbedeutenden Grad von Klebrigkeit (§. 11) besitzt und eine merkliche Grösse der inneren und der äusseren Reibung darbieten wird (§. 182). Diese Eigenschaft verräth sich auch bei der Bewegung des Blutserums durch dünne Glasröhren. POISEUILLE [3]) fand schon, dass es gleich dem Weingeiste langsamer als Wasser durchtritt. Die Blutflüssigkeit hat also eine grössere Reibungsconstante (§. 178) als reines Wasser. Sie und die Adhäsion bedingen

---

Frauen nach den Berechnungen von C. SCHMIDT anzugeben. (Siehe z. B. C. G. LEHMANN, Lehrbuch der physiologischen Chemie. Bd. II. Leipzig 1850. 8. S. 152 und 155.) Die Betrachtung der chemischen Zusammensetzung des Blutes wird uns aber zeigen, dass der Ausgangspunkt dieser Bestimmungen auf einer willkürlichen Grundlage ruht. Die beiden letzten Decimalen würden übrigens noch innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler liegen, wenn auch dieses nicht der Fall wäre.

[1]) Folgt aus (70).

[2]) Behält man die frühere Bedeutung der Buchstaben bei, so hätte man mindestens drei Verdünnungen nöthig, um mit der dem unverdünnten Blute entsprechenden Gleichung (68) vier Gleichungen zur Ermittelung der vier Unbekannten v', s', v'' und s'' zu erhalten. Jede der drei Verdünnungsgleichungen würde die Form haben:

$$v's' + v''s'' + z'p' = (v' + v'' + z')q' \qquad (71)$$

wo z' das Volumen der zugesetzten Flüssigkeit, p' die Eigenschwere derselben und q' die Eigenschwere der Mischung bezeichnet. Stellte man mehr als drei Verdünnungen an, so dass man eine grössere Zahl von Gleichungen als Unbekannte erhielte, diese also mehr als bestimmt wären, so könnte man die wahrscheinlichsten Werthe nach einer der bekannten Rechnungsarten und bei grösseren Beobachtungsreihen nach der Methode der kleinsten Quadrate um so sicherer ermitteln.

[3]) POISEUILLE, Annales des sciences naturelles. Seconde Série. Tome XIX. Paris 1843. S. p. 26—29.

es auch, dass sich die Blutkörperchen, die eine verhältnissmässig ausgedehnte Oberfläche in Vergleich zu ihrer Masse besitzen, langsam senken. Man müsste diese Anheftungswirkungen berücksichtigen, wenn man es versuchen wollte, die Eigenschwere derselben nach den §. 44 erläuterten Grundsätzen zu bestimmen. Sollte es sich bestätigen, dass sich das Senkungsvermögen oder, richtiger gesagt, die Senkungsgeschwindigkeit der Blutkörperchen nach dem Zusatze von Wasser oder einzelnen Salzen vergrössert, so wird dieses dann zu Stande kommen, wenn die durch die Auflösung des beigemischten Körpers veränderte Flüssigkeit eine geringere innere und äussere Reibung besitzt. Die Erscheinung, dass im Allgemeinen die geldrollenartigen Anhäufungen der Blutkörperchen (§. 240) rascher zu Boden fallen, rührt davon her, dass ihre freie Oberfläche kleiner, als die Gesammtsumme der Oberflächen der zu ihr gehörenden oder einer äquivalenten Menge von Blutkörperchen ist (§. 194).

§. 254. Man muss immer die optischen Eigenschaften und besonders die Farbe des Blutes in auffallendem, zurückgeworfenem oder reflectirtem und in durchgehendem oder gebrochenem Lichte vergleichend untersuchen. Das Auge sieht in jenem Falle die Strahlen, die von den gefärbten und den weissen Blutkörperchen und der fast farblosen Blutflüssigkeit regelmässig oder zerstreut[1]) zurückgeworfen werden. Es verbindet die einzelnen Eindrücke, die es nicht gesondert erkennt, zu der Einheitsempfindung einer Gesammtfarbe, die minder stark roth als die blosse Färbungsresultante aller rothen Blutkörperchen ist (§. 221). Besitzen diese keinen merklichen Grad von Durchsichtigkeit, so empfangen wir die durch die Blutflüssigkeit getretenen und die von den Blutkörperchen vielfach zurückgeworfenen Strahlen bei der Betrachtung in durchgehendem Lichte. Man findet daher, dass sich die Durchsichtigkeit des Blutes mit der der Blutkörperchen oder der Abnahme der Menge dieser Gebilde vergrössert, wenn nicht zugleich Niederschläge in der Blutflüssigkeit entstehen. Die wahrscheinlich wechselnden Grössen der Durchsichtigkeit, des Zerstreuungs- und des Verschluckungsvermögens der Blutkörperchen für Farben bestimmen

---

[1]) Das Erstere will sagen, dass die Strahlen nach dem Gesetze der Gleichheit des Einfalls- und des Reflexionswinkels, das Letztere dagegen, dass sie nach allen Richtungen zurückgeworfen werden. Dieses diffuse Licht entsteht aber nur durch die Rauhigkeiten der Oberfläche des zurückwerfenden Körpers, die eine vielseitige regelmässige Zurückwerfung bedingen.

es, ob eine Blutart einen anderen Farbenton in zurückgeworfenem als in durchgehendem Lichte darbietet. Man hat diesen Umstand mit Unrecht bei Seite gelassen, als man die Farbenänderungen des Blutes durch einen Zusatz von Wasser oder einer Lösung von Zucker oder eines Neutralsalzes aus der blossen Formänderung der Blutkörperchen zu erklären suchte.

§. 255. Der Sauerstoff macht das Blut innerhalb und ausserhalb des lebenden Körpers hellroth und die Kohlensäure dunkelroth. Da die rothen Blutkörperchen, die Hauptträger des Farbestoffes bilden, so werden sie die Veränderung vorzugsweise erzeugen. Man kann sich vorstellen, dass zunächst der Sauerstoff nach Maassgabe des Absorptionscoëfficienten der Blutflüssigkeit des lebenden oder des Blutwassers des geronnenen Blutes aufgenommen wird (§. 116). Die grosse Vertheilung der Masse und die hierdurch bedingte ausserordentliche Ausdehnung der wirkenden Oberfläche der Substanz der Blutkörperchen erleichtert es, dass sich ihr Farbestoff der grössten Menge des Sauerstoffes sogleich bemächtigt (§. 121). Da aber die verschiedenen Blutkörperchen ungleiche Quantitäten von Hämatin enthalten, so röthen sie sich auch in verschiedenem Grade in Folge der Sauerstoffwirkung. Man kann dieses unter dem Mikroskope unmittelbar nicht erkennen und eben so wenig angeben, ob die Blutkörperchen aus dem arteriellen oder dem venösen Blute stammen, weil der Unterschied zu gering unter den zur Untersuchung nöthigen Vergrösserungen ausfällt (§. 221). Der durch die Blutflüssigkeit tretende Sauerstoff wird eine ihm entsprechende Menge von Kohlensäure aus jener und vielleicht auch aus den Blutkörperchen verdrängen (§. 119). Dieses und das nach Maassgabe der Nebenbedingungen geänderte Henry'sche Gesetz (§. 117) bestimmen vor Allem die Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute, das in den Gefässen der Lungen oder der äusseren Haut enthalten ist.

§. 256. Die zahlreichen Versuche, die man über die Farbenänderung des Blutes durch die Beimischung fremder Körper seit HEWSON[1]) angestellt hat, besitzen einen nur untergeordneten Werth, weil häufig die Ergebnisse mit der Beschaffenheit des angewandten Blutes und der Dichtigkeit der gebrauchten Lösung nach

---

[1]) W. HEWSON, Vom Blute. Nürnberg 1780. 8. S. 10 fgg. Vgl. auch C. H. SCHULTZ, Das System der Circulation. Stuttgart und Tübingen 1836. 8. S. 114 und 120. F. L. HÜNEFELD, Der Chemismus in der thierischen Organisation. Leipzig 1840. 8. S. 45 fgg. und S. 117 fgg. NASSE a. a. O. S. 76—79. LEHMANN a. a. O. S. 160—167.

unbekannten Normen wechselten. Man hat überdies die Einflüsse, welche die Dicke der untersuchten Schicht ausübt, in den wenigsten Fällen berücksichtigt[1]). Eine Farbenänderung, die das todte Blut gibt, soll nicht immer in dem lebenden wiederkehren, wenn ihm derselbe Stoff auf dem Wege der Einsaugung zugeführt oder unmittelbar beigemengt wird. Salpeter macht z. B. das geschlagene Rindsblut in durchfallendem Lichte kirschroth und in auffallendem braunroth. Er soll dagegen, in die Drosselvene eines Pferdes gespritzt, das Blut des lebenden Thieres nach LEHMANN[2]) dunkeler erscheinen lassen. Man kann dieses mit der schon §. 247 erwähnten Thatsache vergleichen, dass eine Carminlösung auf ein lebendes Gewebe anders als auf ein abgestorbenes wirkt. Die Krappfütterungen von Hunden lehren, welcher Unterschied sich in dieser Hinsicht zwischen den einzelnen eiweissreichen Körpersäften verräth. Das Blut nimmt das eigenthümliche Roth der Färberröthe leicht an. Der Milchsaft bleibt in der Regel weiss, solange die Thiere reichliche Nahrung erhalten. Da sich aber die Lymphe der hungernden Geschöpfe ebenfalls röthet, so bildet die Anwesenheit von Blutkörperchen kein nothwendiges Bedingungsglied der Färbung.

§. 257. Setzt man eine grössere Menge von Kochsalz oder einer anderen neutralen Alkaliverbindung oder von Zucker zu einer durch Wasser dunkeler gewordenen Blutmischung, so wird sie wiederum heller. HENLE und SCHERER erklärten dieses aus dem For-

---

1) Die vergleichende Prüfung verschieden dicker Lagen kann ein ungefähres Urtheil über den Farbestoffgehalt und andere Eigenschaften einer Flüssigkeit geben. Kliniker sollten zu diesem Zwecke Durchsichtsröhren von verschiedener Länge, wie man sie in den Vorrichtungen zur Bestimmung der Drehung der Polarisationsebene benutzt, immer zur Hand haben. Verdünnt man z. B. filtrirtes, schwach rothes Serum des Rindsblutes mit dem Sechsfachen Wasser, so erscheint die Flüssigkeit gelblich, wenn das Licht durch eine Schicht von einem bis zwei Centimetern durchgeht. Untersucht man dagegen eine Säule von 25 Centimetern, so erkennt man eine tief blutrothe Farbe. Man hat auf diese Weise ein Mittel, ohne Spektroskop zu bestimmen, ob z. B. Harn, eine Ausschwitzung oder eine andere Flüssigkeit geringe Mengen von Blut enthält oder nicht. Man kann noch in ähnlicher Art nachsehen, bei welcher Säulenlänge oder bei welcher Verdünnung ein bestimmter heller Gegenstand, den man betrachten will, nicht mehr erkannt wird, die eigenthümliche Farbe einer Flüssigkeit auftritt oder verschwindet und das Ganze undurchsichtig wird. Man kann auf diese Art die Eigenschaften der verschiedenen Blutarten Kranker oder des Urines Gelbsüchtiger in groben Umrissen, wie es für die meisten klinischen Erfahrungen genügt, bestimmen. Da man immer eine und dieselbe Lichtstärke haben muss, so wird man sich am Besten einer Gasflamme bedienen, die man mit einer beständigen Ausflussgeschwindigkeit erzeugen kann.

2) LEHMANN a. a. O. S. 168.

menweehsel der Blutkörperehen. Das Wasser verwandelt sie in Kugeln [1]), die das Licht gleich convexen Spiegeln stark zurückwerfen. Die Salze und der Zucker stellen die frühere Scheibengestalt her, so dass das Lieht leichter durchtritt. Führt man diese Anschauung folgerichtig weiter, so müsste das Blut nach dem Wasserzusatze in durchfallendem Lichte dunkeler erscheinen, weil die Blutkörperchen eine grosse Menge Lichtes nach der von dem Auge abgewandten Seite regelmässig zurückwerfen oder unregelmässig zerstreuen, und in auffallendem Lichte heller werden, weil dann viele der zurückgeworfenen Strahlen in das Auge gelangen. Verdünnt man aber z. B. geschlagenes Rindsblut mit ungefähr dem Dreifachen Wassers, so sieht man das Umgekehrte. Es wird in durchfallendem Lichte heller und in auffallendem dunkeler. Die mikroskopische Untersuchung zeigt dabei runde körnige Körperehen, und zwar in sparsamer Menge in Verhältniss zur Flüssigkeit. Führt der Zusatz eines Salzes die Scheibenform zurück, so müsste das Blut in durchfallendem Lichte heller, in auffallendem dagegen dunkeler werden. Die Beobachtung unterstützt diese Folgerung ebenfalls nicht. Das Wasser macht überdies das Blut nur dann dunkeler, wenn es nicht in allzugrossen Mengen zugesetzt wird. Ist die Verdünnung zu stark, so zeichnet sich die Misehung durch ihre Helligkeit aus. Hat man gesehlagenes Rindsblut einige Male gefrieren und wiederum aufthauen lassen [2]), so hellt es sich auch nach einem mässigen Wasserzusatze nicht weiter auf. Die Anhänger des Einflusses der Formveränderung könnten annehmen, die zahlreichen durch die Kälte gerunzelten oder sternförmig gewordе-

---

[1]) Der Grund, wesshalb oft ältere Forscher die Blutkörperehen des Menschen für Bläsehen hielten (siehe H. Halbertsma, De Antonii Leeuwenhoekii meritis in quasdam partes anatomiae microscopicae. Deventriae 1843. 8. p. 26. 27) liegt wahrscheinlich darin, dass sie das Blut mit Wasser verdünnten. Selbst die unvollkommeuen Mikroskope der zweiten Hälfte des siebzehnten Jahrhunderts liessen sonst das Hauptsächlichste richtig erkennen, wenn sich keine zu Täuschungen führende Nebenbedinguug hinzugesellte. Malpighi z. B. (Marcelli Malpighi Opera posthuma. Amstelodami 1698. 4. p. 122) nennt die Blutkörperchen des Frosches globulos quasi subluteos und Leeuwenhoek (Ontledingen en Ontdekkingen. Leyden 1698. 4. 38 Missive dese 16 July 1683. S. 10. Fig. 2) bildet schon die länglichrunde und abgeplattete Gestalt derselben ab. Auch Swammerdamm (Biblia Naturae p. 834) fand diese Gebilde selbstständig. Muys und vorzugsweise Hewson (Guil. Hewson, Opus posthumum. Lugduni Batavorum 1785. 8. p. 7) beschrieben zuerst die Abplattung und die Vertiefung der Blutkörperchen des Menschen und den Uebergang in die Kugelform unter dem Einfluss des Wassers.

[2]) Vgl. auch Böttcher, Virchow's Arch. Bd. XXXII. 1865. S. 372.

nen Blutkörperchen würfen so viel Licht zurück, dass die durch das Wasser erzeugten kugeligen Formen nichts weiter hinzufügen könnten. Der oben erwähnte Unterschied des Aussehens in auffallendem und in durchgehendem Lichte fehlt aber hier ebenfalls. Werden auch die dreiachsigen Blutkörperchen der Vögel durch Wasser runder, so nehmen sie dabei doch nicht die rein kugelige Gestalt wie die Blutkörperchen der Säugethiere an. Hühnerblut kann dessenungeachtet nach der Wasserverdünnung merklich dunkeler in zurückgeworfenem Lichte werden.

§. 258. Die Beurtheilung der uns hier beschäftigenden Frage muss im Auge behalten, dass jede Unregelmässigkeit der Oberfläche der Blutkörperchen die Zerstreuung des Lichtes im Allgemeinen begünstigt, die bauchige oder die ausgehöhlte Gestalt dagegen eben so wie die Einfallswinkel nur Nebenbedingungen für den Gang der Lichtstrahlen in jedem Einzelfalle bilden. Der von der physikalischen und der chemischen Molecularbeschaffenheit abhängige Durchsichtigkeitsgrad bestimmt es vor Allem, wie viel und welche Farbenarten zurückgeworfen, durchgelassen oder nach ihrem Eintritte verschluckt werden. Das mit Wasser verdünnte Blut kann in durchfallendem Lichte heller erscheinen, wenn die Blutkörperchen farbloser und durchsichtiger geworden und die Lichtabsorption des Blutwassers den Unterschied nicht völlig ausgleicht. Es ist anderseits möglich, dass eine bis zur gänzlichen Zurückwerfung gesteigerte Reflexion der Strahlen eine grosse Menge derselben bei auffallendem Lichte in das Auge des Beobachters sendet, so wie das Wasser den nöthigen Grad von Durchsichtigkeit den Blutkörperchen verleiht, sie aber als eine optisch dichtere Masse wie das Blutwasser fortwirken lässt. Die durch die Zusatzflüssigkeit bewirkte Aenderung des Brechungscoëfficienten kann daher eine Hauptrolle übernehmen. Setzt z. B. das Wasser nicht bloss die mechanische, sondern auch die optische Dichtigkeit der Blutkörperchen herab, so werden sie auch weniger Strahlen gänzlich zurückwerfen und daher die Flüssigkeit in auffallendem Lichte weniger hell erscheinen lassen. Man hat das Umgekehrte, wenn Salze die Blutkörperchen von Neuem verdichten [1]).

---

[1]) Diese Folgerungen ergeben sich aus der Betrachtung des Brechungsgesetzes. W. Snell drückte es dahin aus, dass das Verhältniss der Cosecanten des Einfalls- und des Brechungswinkels einer beständigen Grösse für alle Einfallswinkel gleicht, so lange das Mittel, aus dem der Strahl kommt, und das, in welches er tritt, unverändert bleiben. (Siehe z. B. den Beweis dieses Satzes von Leibnitz in Got. Guil. Leibnitii Opera

§. 259. Man kann die verschiedensten Blutfarben bei den gleichen Gestalten der Blutkörperchen und dieselben bei abweichenden Formen haben. Der Sauerstoff, der das Blut hochroth macht

---

omnia. Editio Dutens. Tom. III. Genevae 1768. 4. p. 146. 147 und von Neucren bei F. A. P. Barnard, Lectures of the Undulatory Theory of Light. Report of the Smithsonian Institution for 1862. Washington 1863. 8. p. 109. 110.) Wir nennen jetzt jenen beständigen Werth den Ablenkungscoëfficienten, den Brechungsindex oder das Brechungsverhältniss. Da aber $\operatorname{cosec} \alpha = \frac{1}{\sin \alpha}$, so führte Descartes das Brechungsgesetz auf die Sinusfunction zurück. Man drückt es gewöhnlich aus:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n \qquad (72)$$

wo α den Einfallswinkel, β den Brechungswinkel und n den Ablenkungscoëfficienten des brechenden Mittels in Verhältniss zu dem des leeren Raumes oder, was fast das Gleiche ist, zu dem der Atmosphäre bezeichnet. Man muss hierbei voraussetzen, dass der Strahl aus der Luft kommt oder in die Luft übergeht, in welchem letzteren Fall das Brechungsverhältniss $\frac{1}{n}$ wird. Wir wollen aber diese Einschränkung vermeiden und daher setzen:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_\beta}{n_\alpha} \qquad (73)$$

Hier ist n_β das Ablenkungsverhältniss des zweiten Mittels, in dem der Brechungswinkel β liegt, und n_α das des ersten, zu dem der Einfallswinkel α gehört. (73) geht also in (72) über, wenn $n_\alpha = 1$ wird.

Da man zunächst die Form

$$n_\alpha \sin \alpha = n_\beta \sin \beta \qquad (74)$$

hat, so folgt, dass das Product des Ablenkungsverhältnisses eines jeden Mittels und des Sinus des zugehörigen Winkels für alle Fälle einfacher Brechung dasselbe bleibt. Man kann diesen Satz als die allgemeine Definition des Brechungsgesetzes ansehen.

Wird $\alpha = 0$, so ist auch $\beta = 0$, d. h. ein senkrecht eintretender Strahl tritt ungebrochen durch. Setzt man $\alpha = 90^0$, so hat man die streifende Incidenz. Der Strahl geht an der Oberfläche der Trennungsebene oder an der sie vertretenden Tangentenebene in dem gegebenen Punkte dahin. n_β wird dann gleich n_α und daher auch $\beta = \alpha = 90^0$.

Tritt der Strahl aus einem dünneren in ein dichteres Mittel über, so ist $n_\beta > n_\alpha$, folglich die aus (73) sich ergebende Gleichung $\sin \beta = \frac{n_\alpha}{n_\beta} \sin \alpha$ immer möglich. Der höchste Werth, den $\sin \alpha$ erreichen kann, ist die Einheit. Man hat für diesen Fall $\sin \beta = \frac{n_\alpha}{n_\beta}$, also einen Bruch. Jeder aus einem optisch dünneren in ein optisch dichteres Mittel übergehende Strahl liefert daher einen Brechungswinkel, der kleiner als der Einfallswinkel ist.

und die Kohlensäure, die es dunkelroth bis schwarz erscheinen lässt, ändern die Gestalten der Blutkörperchen in keiner merklichen Weise. Dieser Satz bestätigt sich noch, wenn man auch die abwechselnde Durchleitung von Sauerstoff und von Kohlensäure eine grosse Reihe von Malen wiederholt. Die Angabe, dass sich dann die Blutkörperchen auflösen, beruhte auf einem Irrthume. Der Eingriff begünstigt höchstens die später zu betrachtende Krystallisation des Blutfarbestoffes, also den Austritt desselben aus den Körperchen, von denen dann ein grosser Theil unkenntlich wird. Die Gestaltänderung derselben bildet auch keine wesentliche Grundbedingung, wenn Wasserstoff, Schwefelwasserstoff oder Stickstoff das Blut dunkeler und der einfache oder der doppelte Kohlenwasserstoff, das Stickstoffoxydul oder das Stickoxyd dasselbe heller machen. Der Wechsel der Form der Blutkörperchen, den Säuren, Alkalien, Salze oder Fremdkörper überhaupt erzeugen [1]), geht dem der Blutfarbe keineswegs parallel. Viele Stoffe, die das Blut aufhellen, machen sie runzelig oder zackig. Man kann aber auch ähnliche Gestalten in dem dunkelen gefrorenen und wiederum aufgethauten Blute bemerken. Hat man es mit so viel Wasser versetzt, dass sich aller Farbestoff auflöste und die Blutkörperchen zu farblosen, durchsichtigen Kugeln wurden oder bersteten, so kann immer noch der

---

Fällt dagegen n_α grösser als n_β aus oder gelangt der Strahl aus einem optisch dichteren in ein dünneres Mittel, so ergibt die Gleichung $\sin\beta = \frac{n_\alpha}{n_\beta}\sin\alpha$, dass $\sin\beta$ schon der Einheit gleich wird, wenn $\sin\alpha = \frac{n_\beta}{n_\alpha}$, d. h. noch ein ächter Bruch, also α kleiner als ein Rechter ist. Man nennt diesen Werth die Grenze der gänzlichen Zurückwerfung, weil jeder grössere Einfallswinkel gar keine Brechung zur Folge hat, sondern der Strahl innerhalb des ersten Mittels zurückgeworfen wird — eine Erscheinung, deren Erklärung der Undulationstheorie viele Schwierigkeiten bereitet hat, die jedoch von NEUMANN auf eine natürlichere Weise als von FRESNEL erläutert worden. Man sieht zugleich, dass der Brechungswinkel grösser als der Einfallswinkel ausfällt, wenn $n_\alpha > n_\beta$ ist und die Grenze der gänzlichen Zurückwerfung um so eher eintritt, je grösser $n_\alpha : n_\beta$ ist.

[1]) Versuche der Art finden sich z. B. bei W. HEWSON, Opus posthumum p. 25 fgg. HÜNEFELD a. a. O. S. 23 fgg. und S. 98 fgg. L. PAPPENHEIM, De cellularum sanguinis indole ac vita observationes microscopico-chemicae. Berolini 1841. S. p. 28—42. KÖSTLIN, Die mikroskopischen Forschungen. Stuttgart 1840. S. S. 52—61. NASSE a. a. O. S. 94—97. LEHMANN a. a. O. S. 165—167. L. GMELIN, Handbuch der Chemie Bd. VIII. Bearbeitet von LEHMANN und ROCHLEDER. Leipzig und Heidelberg 1858. 8. S. 126—132.

Sauerstoff die Flüssigkeit nach BRUCH hellroth und die Kohlensäure dunkelroth färben. Entfernte SCHMIDT[1]) die auf diese Art veränderten Blutkörperchen des Pferde- oder des Hundeblutes durch die Filtration, so zeigte sich der Unterschied, dass zwar die Durchleitung der Kohlensäure das Blut wegen der Fällung des stark zurückwerfenden Globulins, wie gewöhnlich, anfangs heller und später dunkeler machte, der Sauerstoff aber die durch Auspumpen gasarm[2]) gemachte Flüssigkeit gar nicht änderte. Hat man die Hauptmenge der in der Blutlösung enthaltenen Luftarten mit Hülfe der Luftpumpe entfernt, so nimmt die Flüssigkeit eine Mittelfarbe an, die unter dem Einflusse der Kohlensäure dunkeler wird, sich dagegen nur bei der Anwesenheit der Reste der Blutkörperchen mittelst Sauerstoff heller röthet.

§. 260. Alle diese Thatsachen führen zu dem Schlusse, dass die Hauptursache der Blutfärbung in der physikalisch-chemischen Molecularbeschaffenheit der Blutkörperchen liegt und diese es zunächst ist, die sich bei der Einwirkung des Sauerstoffes, der Kohlensäure und der giftigen Gase oder eines zu grossen Gehaltes an Wasser, Säuren, Alkalien oder Salzen für den Farbenwechsel geltend macht. Man hat wahrscheinlich hierbei eine Reihe feinerer Unterschiede, welche die gegenwärtige Chemie noch nicht verfolgen kann. Der grössere oder geringere Grad von Durchsichtigkeit, die Gleichmässigkeit der Oberfläche der Blutkörperchen, welche die regelmässige Zurückwerfung und die zackige oder sonst unebene Gestalt derselben, welche die Zerstreuung des Lichtes begünstigt, machen sich immer nur in untergeordnetem Maasse geltend. Der Farbestoff ist übrigens so empfindlich, dass er sich schon wesentlich ändert, wenn nur lockere, durch die Luftpumpe zerstörbare Gasverbindungen hergestellt worden.

§. 261. BRÜCKE[3]) fand zuerst, dass die alkalischen Lösungen des Farbestoffes des Blutes einen wechselfarbigen oder dichromatischen Zustand[4]) darbieten können, indem sie die Farbe

[1]) AL. SCHMIDT, Virchow's Archiv Bd. XXIX. 1864. S. 9—13.

[2]) Ich wähle absichtlich diesen Ausdruck statt des in der Regel gebrauchten: gasfrei, weil die gewöhnliche Art des Auspumpens, schon der Wasserdämpfe wegen, wie PFLÜGER (Ueber die Kohlensäure des Blutes. Bonn 1864. 8. S. 4) mit Recht bemerkt, eine wässrige Flüssigkeit nicht vollständig entgast.

[3]) BRÜCKE, Sitzungsber. d. Wiener Akad. Bd. XI. S. 1070. Die Fortschritte der Physik im Jahre 1853. Berlin 1856. 8. S. 250.

[4]) Ich vermeide absichtlich den gewöhnlich gebrauchten Ausdruck des Dichrois-

grünen Glases in dünnen Schichten darbieten und roth in dicken erscheinen. Die Annahme, dass dieses nur in dem venösen, nicht aber in dem arteriellen Blute vorkomme, ist nicht allgemein richtig. Die doppelte Färbung zeigt sich nicht bloss an alkalischen Lösungen des natürlichen Blutfarbestoffes, sondern auch an solchen des künstlichen Hämatins. VINTSCHGAU [1]) gibt an, dass jene Eigenthümlichkeit dem Blute fehlt, wenn es durch Kohlenoxyd, Stickstoffoxydul, Stickoxyd, einfachen oder doppelten Kohlenwasserstoff hell gemacht worden.

§. 262. Man sieht die grüne Farbe, wenn man eine verhältnissmässig geringe Menge von Blut in einer Röhre hin und her bewegt und dann die dünne, längere Zeit an der Wand haften bleibende Flüssigkeitsschicht betrachtet. Das dunkele oder schmutzige Grün zeigt sich dann in auffallendem wie in zurückgeworfenem Lichte und ändert seinen Ton in keiner wesentlichen Weise, wenn man es mit einem Nicol untersucht und dieses um seine Achse und zwar mindestens um 90° dreht [2]). Die rothe Farbe des unvermischten

---

mus des Blutes, weil der Dichroismus der Krystalle, wie wir bei denen des Blutes sehen werden, Bedingungen voraussetzt, die der vielfarbige Zustand des Blutes nicht erfüllt.

[1]) M. DI VINTSCHGAU, Intorno all' azione esercitata da alcuni gas sul sangue. Wien 1859. 8. (Sitzungsber. d. Wien. Akad. Bd. XXXVII) p. 5—8.

[2]) Das Nicol'sche Prisma besteht aus einem in bestimmter Weise ausgeschnittenen Kalkspathprisma, dessen Achsenrichtung mit der Richtung der optischen Achse oder der der einfachen Brechung zusammenfällt und das in zwei gleiche Hälften geschnitten und wiederum mit Canadabalsam zusammengekittet worden. Die Doppelbrechung des Kalkspathes erzeugt zwei Strahlen, einen ordentlichen von dem Brechungscoëfficienten 1,659 und einen ausserordentlichen von einem Ablenkuugsverhältnisse 1,486. Da das des Canadabalsams 1,53 bis 1,55 beträgt, so bildet er ein optisch dichteres Mittel für den ausserordentlichen und ein dünneres für den ordentlichen Strahl. Tritt nun ein Strahl gewöhnlichen Lichtes in die erste Hälfte des Nicol, so theilt er sich in einen ordentlichen und einen ausserordentlichen. Nur jener, nicht aber dieser kann durch den Canadabalsam gänzlich zurückgeworfen werden (§. 258). Verlaufen die Strahlen nicht zu schief, so dringt in der That nur der ausserordentliche Strahl durch die zweite Hälfte des Nicol. Die Doppelbrechung verwandelt das gewöhnliche Licht in polarisirtes, d. h. sie setzt das Licht, dessen Schwingungsrichtung von einem Augenblicke zum andern wechselt, in solches von unveränderter Schwingungsrichtung um. Diese befolgt die Bahn einer Ellipse im allgemeinsten Falle. Man hat demgemäss elliptisch polarisirtes Licht. Es wird zu circular oder kreisförmig polarisirtem Lichte, wenn die beiden Durchmesser der Ellipse die gleiche Grösse haben und zu linear polarisirtem, wenn der eine unendlich klein gegenüber dem andern ist.

Die Zurückwerfung und in geringerem Grade die Brechung verwandeln einen Theil des gewöhnlichen Lichtes in polarisirtes und zwar in linear polarisirtes in nahezu den

oder des mit Wasser verdünnten Blutes wechselt in diesem Falle ebenfalls nicht in merklicher Weise. Dieses beweist wiederum, dass die regelmässige, von den Blutkörperchen herrührende Zurückwerfung des Lichtes eine nur untergeordnete Rolle für die Herstellung des Farbentones übernimmt (§. 257). Der wechselfarbige Zustand tritt um so lebhafter hervor, je dunkeler das Blut ist. Man kann ihn daher durch Einflüsse, die dasselbe fast schwarz färben, am Besten zum Vorschein bringen. Er fehlt aber auch keineswegs, wenn das Blut z. B. durch Wasserverdünnung hellroth oder durch Wasser und chlorsaures Kali dem röthesten Schlagaderblute ähnlich geworden. Es gibt umgekehrt eine Fäulnissstufe des Rindsblutes, auf der es sehr dunkel erscheint, das Grün dagegen in dünnen Lagen mangelt. Man bemerkt bisweilen das Gleiche in frischeren Blutmassen, die sich in der Leiche finden. Die Durchleitung

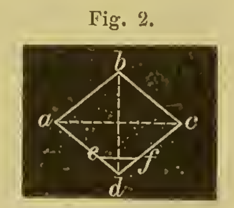
---

meisten Fällen. Der Polarisationswinkel heisst derjenige Einfalls- und Zurückwerfungswinkel, unter dessen Einflusse alles zurückgeworfene Licht polarisirt erscheint. Das Brewster'sche Gesetz gibt für ihn die einfache Gleichung $tg\ \alpha = n$, wo n das Brechungsverhältniss des zurückwerfenden Mittels ist. Polarisationsebene ist diejenige Ebene, in der ein polarisirter Strahl unter dem Polarisationswinkel zurückgeworfen werden kann. Sie fällt in einfach brechenden Mitteln mit der Einfalls- und der Zurückwerfungsebene zusammen. Die Ebene, in der die Aethermolecüle schwingen oder die Schwingungsebene, steht nach der Theorie von Fresnel auf ihr senkrecht. Sie stimmt mit ihr nach der von Neumann überein.

Die Doppelbrechung erzeugt zwei Strahlen polarisirten Lichtes. Der ordentliche Strahl schwingt, wenn er linear polarisirt ist, senkrecht auf die optische Achse und der ausserordentliche parallel derselben. Ein jeder doppelt brechende Körper kann zwar dienen, das gewöhnliche Licht in polarisirtes umzuwandeln. Das Nicol hat aber den Vorzug, dass keine Doppelbilder entstehen, weil der ordentliche Strahl gänzlich zurückgeworfen und nur der ausserordentliche durchgelassen wird.

Ist abcd die schiefe Endfläche eines Nicol'schen Prisma, so entspricht die längere Diagonale ac der Polarisationsebene und die kürzere bd der Schwingungsebene. Das Nicol kann also linear polarisirtes Licht nur dann vollständig durchlassen, wenn dieses in der Ebene bd schwingt. Es weist es vollständig zurück, wenn die Schwingungen ac parallel sind. Die durchgehenden Lichtstärken bestimmen sich nach dem Parallelogramm der Kräfte für schiefe Richtungen.

Fig. 2.

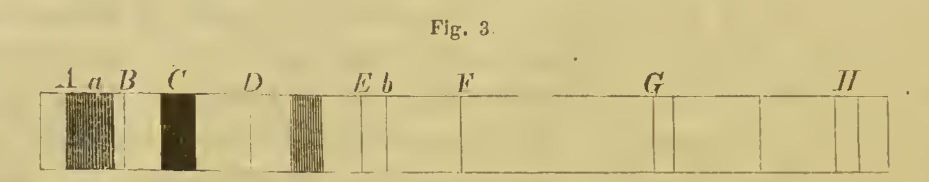


Haben wir einen Körper, der linear polarisirtes Licht durch die Zurückwerfung erzeugt, so wird ein Nicol die Helligkeit nicht stören, wenn seine Polarisationsebene mit der des zurückgeworfenen Strahles zusammenfällt. Es weist dagegen alles polarisirte Licht zurück und verdunkelt daher in Verhältniss der Menge desselben, wenn man es um 90^0 dreht. Diese Untersuchung mit einem Nicol'schen Prisma gibt also ein Erkennungsmittel, ob die Zurückwerfung des Lichtes eine wesentliche Rolle bei einer Erscheinung spielt oder nicht.

von Kohlensäure kann dann den wechselfarbigen Zustand herstellen.

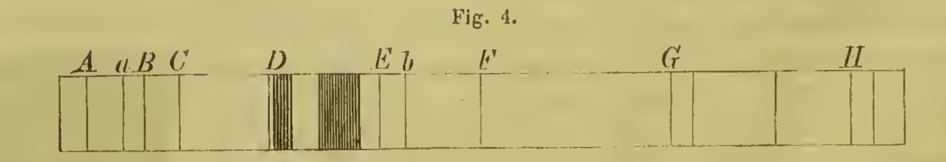
§. 263. BREWSTER bemerkte zuerst, dass der Farbestoff des Blattgrüns oder des Chlorophylls nicht alle Farbenstrahlen in gleicher Stärke durchlässt. Seine Weingeistlösung erzeugt vielmehr (Fig. 3) ein schwarzes Band zwischen den Fraunhofer'schen

Fig. 3.



Hauptlinien A und B, ein zweites zu beiden Seiten von C und ein wegen des unvollkommenen Durchganges der Strahlen nur schattiges Band zwischen D und E. HOPPE-SEYLER bemerkte an dem Sonnenspectrum des dunkelen Zimmers und ich am Spectroskope, dass der rothe Blutfarbestoff ebenfalls eigenthümliche Absorptionsbänder im Spectrum darbietet. KÜHNE[1]) fand, dass die Muskeln, die nach ihm Blutfarbestoff als eigenthümlichen Bestandtheil ihrer Masse enthalten, diesem entsprechend das Spectrum ändern können. Hält man eine dicke Blutschicht vor der Spalte des Spectroskopes, so werden alle Farben bis auf ein rothes Band ausgelöscht. Nimmt man dünnere Schichten oder macht das Blut durch Vermischung mit Wasser allmählig durchsichtiger, so sieht man zuerst auch den Theil des Spectrums, der zwischen Roth und Blau liegt und endlich Alles von Roth bis Violett. Man erkennt dann zwei Blutbänder[2]) zwischen D und E im Grün (Fig. 4). Das erste schmalere liegt näher bei D und das zweite breitere weiter nach E hin.

Fig. 4.



Das Ende von diesem ist jedoch von E entfernter als der Anfang von jenem von D. Diese Blutbänder erhalten sich bis zu grossen

---

[1]) KÜHNE, Virchow's Archiv Bd. XXXIII. 1865. S. 84.

[2]) Eine farbige Abbildung des Spectrums mit den Blutbändern gibt F. HOPPE-SEYLER, Handbuch der physiologisch- und pathologisch-chemischen Analyse. 2. Auflage, Berlin 1865. 8. Taf. I. Fig. 5.

Wasserverdünnungen des Blutes. Man kann sie noch in sehr hellen, mit Schwefelkohlenstoffprismen[1]) versehenen Spectroskopen in Schichten von 1 bis 1½ Centimeter Flüssigkeitsdicke erkennen, wenn das freie Auge den rothen Farbenton nicht mehr wahrnimmt. Dieses gilt nicht bloss von dem gewöhnlichen Blute, sondern auch von dem weniger gerinnbaren kirschrothen der erstarrten Murmelthiere. Die rothe Anilinfarbe, die man Fuchsin nennt, zeigt das Umgekehrte. Die Verdünnungen verrathen noch die röthliche Färbung dem freien Auge, wenn schon das helle Spectroskop keine Fuchsinbänder liefert. Der Nachdruck, mit dem der Farbestoff des Blutes die beiden Fig. 4 abgebildeten Stellen des Spectrums selbst in grossen Verdünnungen auslöscht, macht es möglich, die Blutbänder als Erkenntnissmittel des Blutes in gerichtlichen Fällen zu benutzen. Wir werden daher auf sie in dem vierten Abschnitte dieser Darstellung zurückkommen.

§. 264. Man erhält nur dann ein reines und mit scharfen Fraunhofer'schen Linien versehenes Spectrum, wenn die Eintrittsspalte des Lichtes eine geringe Breite nicht überschreitet, weil sich sonst eine grosse Zahl verschiedener Spectra auf das Mannigfachste verschoben über einander legen. Dieses hat zur Folge, dass ein reines Spectrum weniger hell als ein unreines ausfällt. Man muss daher bei allen Beobachtungen und vorzugsweise bei der wissenschaftlichen oder der gerichtsärztlichen Untersuchung des Blutes bedacht sein, ein möglichst helles Spectrum zu benutzen. Die Spectroskope mit mehreren Glasprismen oder selbst mit einem, das viel Licht verschluckt, können daher in den gewöhnlichen, bei Tageslicht vorgenommenen Prüfungen weniger dienen, als ein mit dünnen Glaswänden versehenes Schwefelkohlenstoffprisma, dessen grosses Zerstreuungsvermögen überdies ein breiteres Spectrum liefert. Die Fraunhofer'schen Linien erscheinen am Schärfsten, wenn das Prisma

[1]) Der Schwefelkohlenstoff gewährt den Vortheil, dass er vermöge seines grossen Zerstreuungsvermögens (oder des Unterschiedes der Brechungscoëfficienten der äussersten rothen und der äussersten violetten Strahlen) ein längeres Spectrum als ein gutes Flintglas und selbst als das Faraday'sche oder das Bor-Kieselglas gibt. Ich möchte jedoch hervorheben, dass auf die Reinheit des Schwefelkohlenstoffes viel ankommt. Ein unreinerer hat ein wesentlich kürzeres Spectrum und kann auch die Absorptionsbänder früher erlöschen lassen. Obgleich der Schwefelkohlenstoff die ultravioletten Strahlen zu einem grossen Theile nicht durchlässt und sich daher zu vielen Fluorescenzversuchen nicht eignet, so gibt er doch, wenn er rein ist, ein Spectrum, das weit in das Violett hineinreicht.

unter dem Winkel der kleinsten Ablenkung eingestellt worden. Da aber dieser von dem Brechungscoëfficienten abhängt, so wechselt er auch mit der Verschiedenheit der Farben. Man wird daher zunächst das Prisma für die Bluntuntersuchungen auf den kleinsten Ablenkungswinkel der grünen Strahlen bringen. Die in Roth und Orange liegenden Linien A, a, B, C erscheinen dann undeutlicher. Liefern manche Umsatzkörper des Blutfarbestoffes Absorptionsbänder in der Nähe von A, B oder C, wie wir sogleich sehen werden, so muss man das Prisma in entsprechender Weise drehen, um die letzten Spuren derselben wahrzunehmen. Da die Breite nicht bloss des ganzen Spectrums, sondern auch die der einzelnen Farbenabtheilungen mit der Beschaffenheit des gebrauchten Prismas wechselt, so hat jede Angabe der Ausdehnung eines Absorptionsbandes einen nur relativen Werth, der bloss zu Vergleichsbestimmung mit anderen mittelst desselben Prismas angestellten Untersuchungen dienen kann.

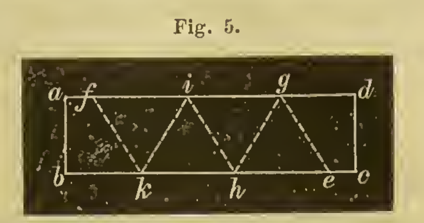
§. 265. Sagt man z. B., das erste Blutband fange bei $D^{3}/_{60}E$ an, so soll dieses heissen, man denke sich die Entfernung von D bis E in 60 Theile getheilt und der Anfang des ersten Blutbandes beginne dann an dem des dritten Sechszigtheiles von D an gerechnet. Solche Schätzungen können z. B. die Thatsache, dass sich die Breite der Blutbänder mit den Verdünnungen des Blutes ändert, anschaulich machen. Das erste Blutband lag z. B. zwischen $D^{1}/_{60}E$ und $D^{3}/_{10}E$, wenn die Wassermischung $^{1}/_{92}$ Blut enthielt und zwischen $D^{1}/_{12}E$ und $D^{17}/_{60}E$, wenn sie $^{1}/_{752}$ führte. Das zweite Blutband gab $D^{3}/_{5}E$ bis $D^{5}/_{6}E$ und $D^{39}/_{60}E$ bis $D^{59}/_{60}E$ in beiden entsprechenden Fällen [1]). Nur das erste Blutband verschmälerte sich bei der hier zum Grunde gelegten Untersuchung von 0,284 auf 0,197 in Folge der Verdünnung. Das zweite dagegen verbreiterte sich von 0,23 bis 0,33.

§. 266. Untersucht man Flüssigkeiten, die nicht vollkommen schwarze, sondern nur schattige Bänder erzeugen, so erscheinen diese um so dunkeler, einen je längeren Weg die Strahlen bei ihrem Durchgange verfolgen. Man muss daher möglichst dicke Flüssigkeitsschichten zur Prüfung benutzen. Eine Blutverdünnung, die noch deutliche Blutbänder bei einer Säulenlänge von einem oder zwei Cubikcentimetern erkennen lässt, kann sie desshalb z. B. nicht

[1]) Eine Reihe von Zwischenwerthen sind angegeben: Der Gebrauch des Spectroskopes. Leipzig und Heidelberg 1863. 8. S. 78.

mehr zeigen, wenn man sie in einem mehr als dreissig Mal so kurzen Flüssigkeitsrohre in gewöhnlicher Weise prüft. Man darf nicht ohne Weiteres annehmen, dass die Sichtbarkeit in gleichem Verhältnisse der Weglänge zunimmt. Es wäre daher nicht gerechtfertigt, wenn man nach diesem Grundsatze berechnen wollte, bis zu welchem Verdünnungsgrade die Blutbänder bei dem Gebrauche eines Haarröhrchens kenntlich bleiben. Stehen nur geringe Flüssigkeitsmengen zu Gebote, so vermag ein einfaches Mittel die Erkenntniss der Absorptionsbänder zu begünstigen.

Fig. 5.



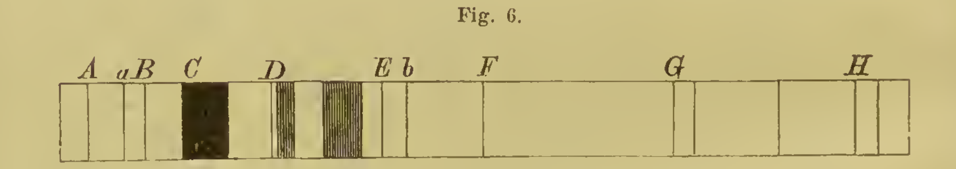
Denken wir uns einen undurchsichtigen Behälter abcd Fig. 5, dessen Innenfläche spiegelt und der eine Eintrittsöffnung des Lichtes bei e und eine Austrittsöffnung bei f besitzt, so muss der Lichtstrahl den von den wiederholten Zurückwerfungen eghikf bezeichneten Weg durchlaufen, wenn er, von e in der Richtung eg eingedrungen, nach f gelangen soll. Will man also einen kleinen Blutfleck untersuchen, so wird man ihn in einer möglichst geringen Menge von Flüssigkeit aufnehmen und eine solche Zurückwerfungsvorrichtung zur Prüfung benutzen. Stehen etwas grössere Mengen zu Gebote, so wählt man einen langen und schmalen Behälter, durch dessen Längsachse man den Strahl gehen lässt. Ein Haarröhrchen, durch dessen Länge der Strahl tritt, genügt im Nothfalle. Man verfährt sonst am Besten, wenn man die Flüssigkeit in Kästchen oder Röhren untersucht, die mit zwei einander gegenüberliegenden möglichst planparallelen Glasplatten versehen sind.

§. 267. Die spectroskopische Verfolgung des Farbenunterschiedes des hochrothen und des dunkelrothen Blutes gelingt nur bei einer passenden Dicke der Flüssigkeitsschicht, weil sie sonst entweder zu undurchsichtig ist oder die Verschiedenheit der Färbung verhältnissmässig zu gering ausfällt. Eine Probe von Kalbsblut, das durch Sauerstoff möglichst hochroth gemacht worden, verdunkelte dann das ganze Spectrum bis auf einen Theil, der von A bis D reichte. Eine andere, welcher Kohlensäure eine möglichst dunkele Färbung verliehen hatte, liess das Licht nur von A $^{1}/_{2}$ a bis D durch. Das hochrothe Blut ist also für ein reineres Roth durchgängiger als das dunkelrothe. Das Blut der winterschlafenden Murmelthiere zeigt eine kirschrothe Mittelfarbe. Es fand sich auch

dem entsprechend, dass das Blutserum der Carotis von A½ B und das der Drosselvene von A⅓ B bis D durchliess.

§. 268. Der wechselfarbige Zustand des Blutes (§. 261) übt keinen bedeutenden Einfluss auf die Blutbänder aus. Man sieht diese auch an den dünnen grünen Schichten, die an den Glaswänden haften bleiben (§. 262). Sie erhalten sich im Blute, das gefroren und wiederum aufgethaut ist, gehen aber bei zu starker Erwärmung des Blutes verloren. Die später zu betrachtenden Hämatinkrystalle liefern sie ebenfalls mit grossem Nachdrucke. Wie sie in dem durch Sauerstoff möglichst hellroth und dem durch Kohlensäure dunkelroth gemachten Blute auftreten, so bleiben sie auch, wenn Wasser, kohlensaures Natron oder kohlensaures Ammoniak, Kochsalz, Salpeter oder chlorsaures Kali die Blutfarbe wesentlich ändern. HOPPE-SEYLER bemerkte ihr Fortbestehen nach der Einwirkung von Wasserstoff, von nicht zu grossen Mengen von Kohlenoxyd, von Stickstoffoxydul, Arsenikwasserstoff, Schwefelkohlenstoff, Aether, Chloroform, arseniger Säure, Bleiessig oder kohlensaurem Natron.

Fig. 6.



§. 269. Die Durchleitung reichlicher Mengen von Schwefelwasserstoff, die das Blut dunkelschwarz in auffallendem Lichte erscheinen lässt, verleiht ihm die Eigenschaft, einen grünen Farbenton schon in nicht ganz dünnen Schichten in durchfallendem Lichte anzunehmen. Untersucht man dieses Blut am Spectroskope, so bemerkt man ein tief schwarzes Band bei und jenseit C, wie es Fig. 6 darstellt. Nimmt man dickere Lagen oder sind grosse Mengen des Gases durchgeleitet worden, so fehlen die Blutbänder, während das S c h w e f e l w a s s e r s t o f f b a n d mit grösstem Nachdrucke auftritt. Es erscheint übrigens später als die oben erwähnte grünliche Blutfarbe.

§. 270. Leitete ich Kohlensäure durch das hellrothe Serum des Carotidenblutes eines winterschlafenden Murmelthieres, so wurde es kirschroth. Das Spectroskop zeigte dann das K o h l e n s ä u r e b a n d in Form eines schwarzen Streifens, der von B⅓ C bis C¼ D reichte. Es erhielt sich noch nach dem Durchtritte von Sauerstoff, nicht aber nach einem reichlichen Zusatze von Essigsäure oder von Kali.

Froschblut und Schaafblut lieferten das gleiche Kohlensäureband. Wurde faulendes Meerschweinchenblut zuerst mit Schwefelwasserstoff und dann mit Kohlensäure behandelt, so erhielt man eine Verschmelzung des Schwefelwasserstoff- und des Kohlensäurebandes nach dem Gebrauche passender Mengen. Mehr Schwefelwasserstoff dagegen zerstörte das Kohlensäurespectrum.

§. 271. Die verschiedensten Säuren[1]), wie Schwefelsäure, Phosphorsäure, Salpetersäure, Salzsäure, Kleesäure, Weinsteinsäure, Citronensäure, Bernsteinsäure, Milchsäure, Essigsäure und Ameisensäure erzeugen eigenthümliche S ä u r e b ä n d e r, die zwischen $a\,{}^{1}/_{3}\,B$

Fig. 7.

A a B C D E b F G H

und $C\,{}^{1}/_{4}\,D$ liegen. Ein Zusatz von ${}^{1}/_{30}$ Essigsäure zu dem durch Sauerstoff hochroth gemachten Kalbsblute, das mit 26 Theilen Wassers verdünnt worden, gab ein dunkeles von $A\,{}^{1}/_{4}\,a$ bis B reichendes Band, wie es Fig. 7 zeigt, ohne die Blutbänder. Das schwarze Band verschwand nach der Neutralisation mit kohlensaurem Natron. Nennt man dieses durch Essigsäure erhältliche Spectrum das H ä m i n s p e c t r u m, so muss man hiervon das H ä m a t i n s p e c t r u m[2]) unterscheiden. Schüttelt man das Blut mit einer verdünnten Lösung von kohlensaurem Kali und kocht den auf dem Filtrum bleibenden Niederschlag mit Weingeist, so gibt die grüngelbe Lösung des sogenannten Hämatins einen schattigen Bezirk von A bis B und einen schwarzen in der Gegend vor D.

§. 272. STOKES[3]) behandelt gewässertes Schaaf- oder Rindsblut mit einer Lösung von Eisenvitriol oder von Zinnchlorür und einer hinreichenden Menge von Weinsteinsäure, um einen Niederschlag zu verhüten. Er setzt dann so viel Ammoniak oder kohlensaures Natron zu, dass die Mischung alkalisch wurde. Sie lieferte nicht mehr zwei gesonderte Blutbänder, sondern ein einziges Band,

[1]) Virchow's Arch. Bd. XXVII. 1863. S. 215—217.

[2]) Die Spectren der von HOPPE-SEYLER mit den Namen des H ä m a t i n s und des M e t h ä m o g l o b i n s belegten Farbestoffe siehe in dessen Handbuch der physiologisch- und pathologisch-chemischen Analyse. 2. Auflage. Berlin 1865. 8. Taf. I. Fig. 6.

[3]) STOKES, Proceedings of the Royal Society. Vol. XIII. 1864. p. 355—357. Vgl. auch HOPPE-SEYLER, Handbuch. Berlin. S. 203. 204.

das wir das Zwischenband nennen wollen, weil seine grösste Schwärze dem Zwischenraume der beiden früheren Bänder entspricht. Lässt man die purpurrothe Flüssigkeit stehen, so zeigen sich nach einiger Zeit die gewöhnlichen Blutbänder in den oberen Schichten, auf die der Sauerstoff der Luft gewirkt hat, und das einfache Zwischenband da, wo dieses nicht der Fall war. Man kann die gleiche Reduction und dieselbe Umwandlung zu einem einzigen Absorptionsbande durch Schwefelammonium hervorrufen. STOKES nennt purpurrothes Cruorin den Zustand des natürlichen Farbestoffes des Blutes, der das einfache Zwischenband und scharlachrothes den, der die gewöhnlichen Blutbänder darbietet. Da aber diese in dem arteriellen wie in dem venösen Blute vorkommen, so glaubt er annehmen zu müssen[1]), dass das Venenblut nicht ausschliesslich purpurrothes, sondern auch eine bedeutende Menge von scharlachrothem Cruorin enthalte. Das künstlich dargestellte Hämatin oder Hämatosin von LE CANU[2]) kann ebenfalls die zwei Zustände, ähnlich wie das Cruorin, am Spectroskope verrathen.

Ich finde, dass schon ein vorsichtiger Zusatz einer wässrigen Lösung von Weinsteinsäure das erste der D Linie nähere Blutband (Fig. 4. S. 206) verschmälern und weiter nach dem Anfange des Spectrum verrücken kann, so dass nur die D Linie mit einem schmalen Theile der beiderseitigen Nachbarschaft derselben dunkel erscheint. Das zweite Blutband wird zwar matter, es fällt aber seiner grössern Breite wegen mehr auf. Zusätze von schwefelsaurem Eisenoxydul, schwefelsaurem Kupferoxyd zu dieser Weinsäure-Blutmischung oder von Fehling'scher Lösung zu verdünntem Blute lassen das Spectrum trüber erscheinen, als man nach der Durchsichtigkeit der Flüssigkeit erwarten würde. Man sieht oft nur das über den früheren Zwischenraum zwischen den beiden Blutbändern verbreiterte zweite Blutband. Diese allmälige Entstehung des Zwischenbandes zeigt sich noch deutlicher, wenn man immer grössere Mengen von Schwefelammonium zu dem mit Wasser verdünnten Blute setzt. Schüttelt man die Mengung mit etwas atmosphärischer Luft, so kehren die beiden gewöhnlichen Blutbänder zu den zwei Seiten des Zwischenbandes wieder, während dieses selbst hell wird. Es ist unter diesen Verhältnissen nicht zu bezweifeln, dass sie durch

---

1) STOKES, Ebendas. p. 361.
2) L. R. LE CANU, Études chimiques sur le sang humain. Paris 1837. 4. p. 28—39.

Oxydation wiederhergestellt werden. Da Blut, dessen Sauerstoff durch Kohlenoxyd ausgetrieben worden, keinen Sauerstoff mehr aufnimmt, so erhält sich auch hier das Zwischenband nach dem Schütteln mit atmosphärischer Luft. HOPPE-SEYLER empfahl daher diese Probe zur Erkenntniss der Tödtung durch Kohlenoxyd. Künftige Untersuchungen werden über die Annahme von STOKES entscheiden müssen, ob in der That die Veränderung, die der Bildung des venösen Blutes im lebenden Körper zum Grunde liegt, auf der Herstellung eines Farbestoffes beruht, der an und für sich das Zwischenband gibt. Verhältnissmässig nicht starke Wasserverdünnungen des Blutes lassen zwar die Breite des zweiten Blutbandes bis über die Gegend des Zwischenbandes hinübergehen. Dieses wiederholt sich aber bei hochrothem wie bei dunkelrothem Blute und ändert sich nicht bis zur blossen Anwesenheit des Zwischenbandes, wenn man Kohlensäure oder ein anderes das Blut dunkeler machendes Gas durchleitet.

§. 273. Die spectroskopische Prüfung gestattet nicht selten ein feineres Urtheil als die Beobachtung mit freiem Auge. Das Säureband verräth sogleich die Anwesenheit einer Säure und das Hämatinspectrum die Wirkung zersetzender Eingriffe. HOPPE-SEYLER[1]) fand auch z. B., dass die rothe, in Kröpfen enthaltene Flüssigkeit keine Blutbänder, sondern das Hämatinspectrum lieferte. Ein starker Säuregehalt zerstört die Blutbänder leichter als die kaustischen Alkalien.

§. 274. Man kann dreierlei Arten gefärbter Krystalle aus dem Blute darstellen: 1) die des Hämatoglobulin oder des Hämoglobin, die Hämatinkrystalle, das Hämatokrystallin oder die Blutkrystalle im engeren Sinne; 2) die Häminkrystalle, die Teichmann'schen Krystalle oder die des salzsauren Hämatins von HOPPE, und 3) die Hämatoidinkrystalle. Die erste und die dritte Art finden sich bisweilen schon in Blutergüssen des lebenden menschlichen oder thierischen Körpers. Hat ein Blutigel vor mehreren Wochen gesogen, so kann sein Nahrungscanal Blutkrystalle nach BUDGE und LANDOIS enthalten. Die zweite Art bildet ein Kunstproduct, das man gewöhnlich durch Essigsäure darstellt, das sich aber auch mittelst anderer organischer Säuren, wie Kleesäure, Weinsteinsäure, Citronensäure oder Milchsäure gewinnen lässt. Die Untersuchungen, die ROLLETT[2]) an grösseren

[1]) HOPPE-SEYLER, Virchow's Arch. Bd. XXVII. 1863. S. 393.

[2]) ROLLETT, Sitzungsber. der Wien. Akad. Bd. XLVIII. 1863. S. 223—231.

Mengen dieser Krystallverbindungen anstellte, lehrten, dass die Hämatoglobulinkrystalle Krystallformen des natürlichen Blutfarbestoffes, die Häminkrystalle dagegen solche des künstlichen Hämatins sind, wie es z. B. v. WITTICH durch Behandlung des defibrinirten Blutes mit einer dichten Kalilösung und Ausziehen des Rückstandes mit wasserfreiem Weingeist darstellt (§. 271).

§. 275. Obgleich das Blut des Menschen und der verschiedensten Wirbelthiere die Blutkrystalle liefert, so erzeugen sie sich doch nicht in allen Blutarten mit derselben Leichtigkeit. Das Blut des Meerschweinchens bietet die günstigsten Bedingungen dar. Das des Eichhörnchens folgt zunächst. Das der Mäuse, der Kaninchen, des Menschen und des Rindes setzt im Allgemeinen mehr Schwierigkeiten entgegen als das der Katze oder der Ratte und besonders des Hundes. Man erhält oft die Krystalle, wenn man einen Blutstropfen frei verdunstet, bis der Rand fest geworden, die feuchte Mitte mit Wasser, Weingeist oder Aether vermischt, das Ganze mit einem Deckgläschen beschwert und langsam eintrocknen lässt. Die Krystalle schiessen am Leichtesten am Rande, nicht selten aber auch in den übrigen Bezirken an. Erscheint auch der Blutrückstand unter dem Mikroskope gleichförmig, so kann man doch oft nach BOJANOWSKI viele Krystalle zur Anschauung bringen, wenn man die Masse kurze Zeit in Zuckerwasser aufweicht. Die Umwandlung eines Blutkörperchens, besonders der Fische, in Krystalle, die frühere Forscher beschrieben haben, ist mir nie vorgekommen. Die angebliche Rückbildung von Blutkrystallen in Blutkörperchen hat noch weniger Wahrscheinlichkeit. Die abwechselnde Durchleitung von Sauerstoff und Kohlensäure, die jedoch nicht die Blutkörperchen, wie man behauptet hat, auflöst (§. 259), die allmälige Veränderung und Entfärbung der Blutkörperchen des der Luft ausgesetzten Blutes und die spätere Verdunstung oder die Behandlung desselben mit reinem Weingeist, mit solchem, der mit Kleesäure versetzt worden oder mit Aether, ein Zusatz von wasserfreiem schwefelsauren Natron nach BURSY, BÖTTCHER und AL. SCHMIDT, oder mit freilich geringerer Wirkung ein solcher von phosphorsaurem oder essigsaurem Natron, schwefelsaurem, salpetersaurem oder essigsaurem Kali, das wiederholte Gefrieren und Aufthauen, Schläge, vorzugsweise der Elektrisirmaschine nach ROLLETT und bisweilen die Entfernung der Blutgase, überhaupt alle Mittel, durch die sich der Farbestoff in der umgebenden Flüssigkeit löst, begünstigen die Krystallbildung. Eine gewisse nicht näher bekannte Beschaffenheit des Hämatins oder

des Blutes überhaupt bildet jedoch eine wesentliche Nebenbedingung des Gelingens.

§. 276. Die Blutkrystalle besitzen im Allgemeinen eine starke Doppelbrechung. Sie erscheinen daher hell in dem dunkelen Gesichtsfelde und in eigenthümlichen Polarisationsfarben auf dem rothen Gypsgrunde des Polarisationsmikroskopes (§. 224). Die Aufbewahrung in Glycerin oder in trockenem Zustande kann diese Eigenschaft Jahre lang erhalten. Ich besitze jedoch auch eingetrocknete Prismen und andere Formen aus dem Blute der Katze und des Meerschweinchens, die das Licht nur spurweise oder gar nicht doppelt zu brechen scheinen. Da die Krystalle des regulären Systemes zwei Strahlen nur dann erzeugen, wenn innere Spannungen vorhanden sind, man aber diese Bedingung nicht für alle doppeltbrechenden Blutkrystalle vorauszusetzen berechtigt ist, so muss es von vorn herein als wahrscheinlicher angesehen werden, dass sie dem regulären Systeme nicht angehören. Diejenigen des Meerschweinchens, die man bisher für Tetraëder oder für andere Formen des regulären Systemes gehalten hat, sind nach Lang[1]) die Hälften einer rhombischen Pyramide, rhombische Tetraëder oder rhombische Sphenoide. Sie besitzen in der Regel eine starke Doppelbrechung. Es kam mir jedoch auch ausnahmsweise vor, dass diese mangelte, wenn die Krystalle lange in Glycerin aufbewahrt worden. Die, welche jener Forscher aus dem Blute des Menschen, des Kaninchens, des Hundes und der Katze untersuchte, entsprachen rhombischen Prismen und Combinationen derselben. Während also diese Krystalle dem rhombischen Systeme angehörten, bildeten die des Meerschweinchens sechsseitige Tafeln des hexagonalen Systems. Nadelförmige Prismen aus dem Menschen- und dem Katzenblute erwiesen sich mir als positiv in Bezug auf die Längsachse.

§. 277. Ein Präparat mikroskopischer Hämatinkrystalle, das roth für das freie Auge erscheint, gibt am Spectroskope dieselben dunkelen Blutbänder (§. 263) wie eine eingetrocknete Blutmasse. Diese Eigenschaft erhält sich auch noch, wenn die an einer Glaswand angetrockneten nadelförmigen oder anders gestalteten Blutkrystalle zerklüften.

§. 278. Man hat häufig vermuthet, dass es gelingen dürfte, farblose Blutkrystalle darzustellen, weil der in ihnen vorkommende

---

[1]) Lang bei Al. Rollett, Versuche und Beobachtungen am Blute. Sitzungsber. der Wien. Akad. Bd. XLVI. Extraabzug. S. 21—27.

Eiweisskörper[1]) krystallisiren könne und ihn nur ein rother Farbestoff in ähnlicher Weise durchtränke, wie ein rother oder brauner die Harnsäurekrystalle des Fieber- oder des Bierharnes. Obgleich man nicht selten farblose Krystalle in dem krystallisirenden Blute oder in alten Blutergüssen findet, so gelang es doch bis jetzt nicht, diese Auffassung durch sie zu beweisen.

§. 279. Lang[2]) fand die von Rollett dargestellten Blutkrystalle pleochromatisch. Betrachtete er z. B. die Rhomben des Menschenblutes mit einem Nicol (§. 262), so erschienen sie dunkelroth, wenn die Schwingungsebene desselben der kürzeren und farblos, wenn sie der längeren Diagonale parallel stand[3]). Diese Eigenschaft, die auch vielen gefärbten Harnsäurekrystallen und, wie Rollett besonders hervorhob, den Häminkrystallen zukommt, findet sich nicht in allen Blutkrystallen. Ich vermisste sie z. B. in vielen Prismen, Nadeln, scheinbaren Tetraëdern des trockenen Blutes des Menschen, der Katze und des Meerschweinchens. Der Farbenwechsel rührt von dem durchtränkenden Farbestoff allein her. Gefärbte Schwerspathe sind nach Grailich und Lang[4]) polychroitisch, wasserhelle dagegen nicht. Derselbe Unterschied wiederholt sich nach Sénarmont für den salpetersauren Strontian, je nachdem er mit dem Farbestoffe des Campechenholzes durchtränkt ist oder nicht.

---

[1]) Die Reactionen dieses Hämatokrystallins sind z. B. zusammengestellt bei E. F. v. Gorup-Besanez, Lehrbuch der physiologischen Chemie. Braunschweig 1862. 8. S. 141. 142.

[2]) Lang a. a. O. S. 24.

[3]) Pleochroitisch oder pleochromatisch heisst nach Haidinger eine Masse, die verschiedene Farben zeigt, je nachdem das Licht in verschiedenen Richtungen durchgeht. Man hat im Allgemeinen drei Farben, die den drei Hauptachsen einer krystallinischen Masse entsprechen. Die Farben der Zwischenrichtungen lassen sich aus ihnen zusammensetzen. Sind die Farben nur in zweien dieser Hauptrichtungen verschieden, so heisst der Körper dichroitisch. Die Eigenthümlichkeit kommt vor Allem in doppelt brechenden Massen vor. Sie hängt davon ab, dass eine andere Farbe in jeder Achsenrichtung verschluckt, folglich auch eine andere als Mischfarbe des durchgehenden Lichtes wahrgenommen wird. Diese bildet die Ergänzungsfarbe der fehlenden Farbe zu Weiss, wenn weisses Licht in den Körper dringt.

Stellen wir ein einziges Nicol zwischen der Lichtquelle und dem dichroitischen Körper oder zwischen diesem und dem Auge auf, so wird immer diejenige Farbe vollständig durchgelassen, für welche die Schwingungen im Nicol und in dem dichroitischen Körper zusammenfallen (§. 262). Hat man jenes so gedreht, dass seine Schwingungsebene die einer Hauptrichtung des dichroitischen Körpers entsprechende Farbe mit grösstem Nachdrucke gibt, so erhält man die bedeutendste Intensität der anderen Farbe, wenn man die Schwingungsebene des Nicol der zweiten Hauptachse parallel stellt.

[4]) Lang a. a. O. S. 27.

§. 280. Man bereitet sich eine für die mikroskopische Untersuchung ausreichende Menge von Häminkrystallen verhältnissmässig am Sichersten, wenn man den Blutstropfen oder das eingetrocknete Blut mit Kochsalz und Eisessig oder flüssiger starker Essigsäure versetzt, die Mischung bis zum Sieden langsam und ohne alle stürmische Bewegung erhitzt und hierauf ruhig verdunsten lässt. Die geringste Blutmenge kann viele Hunderte der erst unter ziemlich starken Vergrösserungen kenntlichen braungelben Kryställchen liefern. Sie bilden rhomboidale längliche Platten oder Säulen und liegen gesondert, paarig oder sternweise vereinigt. Ihr Polychroismus verräth sich dadurch, dass die meisten hellgelblich und durchsichtig erscheinen, wenn man die Schwingungsebene des oberhalb oder unterhalb des Objectglases befindlichen Nicols (§. 262) so einstellt, dass sie der längeren Achse des Krystalls parallel geht und bräunlich, dunkelbraun bis schwarz und undurchsichtig, wenn man sie um 90° dreht. Da viele unter beinahe rechten Winkeln paarig zusammen zu liegen pflegen, so liefert der zweite Krystall nahezu die grösste Dunkelheit, wenn der erste die stärkste Helligkeit gibt. Andere Häminkrystalle werden dunkel, wenn die Schwingungsebene des Nicol und die längere Achse des Blättchens parallel sind und hell, wenn man jene um 90° dreht. Noch andere liefern das Maximum der Dunkelheit oder der Helligkeit, wenn sich jene beiden Richtungen unter schiefen Winkeln kreuzen.

§. 281. Die Hämatoidinkrystalle, die man bisweilen in Blutergüssen oder in dem stockenden Blute des lebenden Körpers findet und durch das Ausziehen braunrother Gallensteine mit Chloroform am Leichtesten darstellt, bilden goldgelbe bis gelbrothe Prismen, Rhomben oder Nadeln, die dem monoklinoëdrischen Systeme angehören. Die noch wenig gekannte Verbindung, die auch oft unkrystallinisch vorkommt, scheint dem gelben Gallenfarbestoff, aus dem man sie auch nach Zenker und Funke darstellen kann, verwandt zu sein.

§. 282. Da das Blut eine Salzlösung bildet, so werden seine Dämpfe eine geringere Spannkraft[1]) als reines Wasser für die gleichen Wärmegrade besitzen. Eine Folge davon ist die Erhöhung des Siedepunktes. Die wechselnden Mengen von Salzen und von gelösten Körpern überhaupt, die in den verschiedenen Blutarten vor-

[1]) Siehe z. B. das Nähere bei E. Gerland, Ueber das Verhalten zweier Salze in Lösungen. Marburg 1864. 8. S. 4 fgg.

kommen, lassen erwarten, dass diese bei ungleichen Graden unter 0° C. erstarren. KIRWAN gab den Schmelzpunkt zu —3°,9 C. an. Ich versenkte ein Thermometer in geschlagenes Rindsblut und stellte das Röhrchen, in dem es sich befand, in eine aus Kochsalz und Schnee bestehende Kältemischung. War das Thermometer eingefroren, so erwärmte ich das Blut in der Luft, bis jenes wiederum beweglich wurde. Sechs Versuche der Art lieferten das Ergebniss, dass der Schmelzpunkt näher an —2° als —3° lag. Der Mittelwerth betrug —2°,2 C. Ein anderes Rindsblut lieferte einen Schmelzpunkt von ungefähr —2° C. Gefrorenes Kaninchenblut wurde zwischen —1° bis —2° C. breiig. Die Behauptung von J. HUNTER[1]), dass Blut, das einmal gefroren war, weit rascher als frisches Blut gefriere, bedarf noch der Bestätigung. Die Wärmecapacität des Blutes soll 0,83 bis 0,93 nach J. DAVY betragen.

§. 283. Das wiederholte Gefrieren und Aufthauen des Blutes lässt nach ROLLETT[2]) den Farbestoff der Blutkörperchen in das Blutwasser übertreten. Jene werden daher blass und kugelig. Viele gehen endlich zuletzt zu Grunde. Das Blut nimmt eine Färbung an, die man mit einer durchsichtigen Lackfarbe nach BRÜCKE vergleichen kann, und schlägt Blutkrystalle in geeigneten Blutarten in reichlichster Menge nieder (§. 274). Es kommt in Gefrorenen vor, dass rothes Blutwasser von den Gefässen aus in die Nachbargewebe exosmotisch übertritt. Die vorsichtige Erwärmung des mit viel Wasser verdünnten Blutes kann dasselbe durch einen feinkörnigen Niederschlag trüben, ohne den Farbenton merklich zu ändern, oder diesen auch in untergeordnetem Maasse wechseln lassen.

§. 284. Alle Versuche, die man mit dem Blute an dem Galvanometer angestellt hat, um die Veränderungen während der Gerinnung oder unter anderen Nebenbedingungen kennen zu lernen, lieferten keine zuverlässigen, physiologisch verwerthbaren Ergebnisse. Anders verhält es sich mit den Beobachtungen, die über die Wirkung der Elektricität auf das Blut gemacht worden. Leitete ROLLETT[3]) eine Reihe von Entladungsschlägen einer kräftigen Elektrisirmaschine durch reines Blut, so hellte sich dieses auf und

[1]) J. HUNTER, Versuche über das Blut, die Entzündung und die Schusswunden. Uebers. von HEBENSTREIT. Bd. I. Leipzig 1797. 8. S. 175.

[2]) A. ROLLETT a. a. O. S. 8—11.

[3]) ROLLETT a. a. O. S. 28—32 und A. ROLLETT in den Sitzungsber. der Wiener Akad. Bd. XLVII. 1863. S. 356—390. Vgl. auch MOLESCHOTT's Untersuchungen Bd. IX. 1865. S. 474—500.

verwandelte sich in eine durchsichtige, schön rothe, lackfarbenähnliche Flüssigkeit. Man hat dabei zweierlei Arten von gegenseitig unabhängigen Widerständen, den, welchen das Blut seiner Aufhellung entgegensetzt und den eigenthümlichen Widerstand der Blutkörperchen, der sich mit den verschiedenen Blutarten ändert. Beide können in entgegengesetztem Sinne wirken. Die Blutkörperchen des Menschen, des Schweines und des Kaninchens[1]) werden dabei kugelig, lassen ihren Farbestoff austreten, ohne an Umfang abzunehmen, verkleinern sich aber später und werden zuletzt unkenntlich. Das auf diese Art behandelte Blut eignet sich nach Rollett, die Stromvertheilung des Entladungs- oder eines constanten Stromes innerhalb des Schliessungsbogens durch seine mittelst der Elektricität bewirkten Veränderungen unmittelbar anzuzeigen. Die Elektrolyse, die ein durch die Blutmasse geleiteter galvanischer Strom hervorruft, führt zur Abscheidung von Sauerstoff und anderen elektronegativen Körpern, also auch zu der von Säuren und desshalb zur Gerinnung von Eiweiss an dem positiven Pole. Das an dem negativen austretende Alkali kann die benachbarten Blutkörperchen lösen und daher eine rothe Flüssigkeit erzeugen, mit der sich die reichlich entwickelten Gasblasen mengen. Diese elektrolysischen Wirkungen machen sich nur in geringem Grade für den Entladungsstrom, nachdrücklich dagegen für die Inductionsschläge der gewöhnlichen Magnetelektromotoren geltend[2]). Man kann daher auch das Blut in den Gefässen des lebenden Frosches zur Gerinnung oder, richtiger gesagt, zur Erstarrung bringen, wenn man die kräftigen Ströme des Magnetelektromotors durchleitet.

3. Chemische Bestandtheile.

§. 285. Die chemische Analyse des Blutes zeigt auf jedem Schritte, wie wenig die gegenwärtige organische Chemie im Stande ist, irgend befriedigende Aufschlüsse zu liefern. Man darf ohne Uebertreibung behaupten, dass kein bis jetzt mögliches Untersuchungsverfahren genügt, die Beschaffenheit der Blutbestandtheile scharf festzustellen. Die quantitativen Bestimmungen besitzen einen sehr untergeordneten Werth im glücklichsten Falle, weil die Einzel-

---

[1]) Ueber die deutlicheren Veränderungen der Blutkörperchen der Frösche siehe Rollett, Ebendas. S. 384. 385.

[2]) Rollett, Ebendas. S. 387—389.

stoffe, auf die sie sich beziehen, nur Mischungen verschiedener Bestandtheile zu sein pflegen, nicht selten Zersetzungserzeugnisse einschliessen und verschiedene Mengen derselben Masse in zwei auf diese Art getrennt berechneten Bestandtheilen vorkommen. Der Fleiss der Chemiker konnte daher nur Vieles und nicht Viel, selbst bei dem besten Willen, zu Tage fördern. Die Aufgabe der Zukunft besteht nicht darin, die Zahl der schon bekannten Blutanalysen durch neue zu vergrössern, sondern scharf charakterisirbare Stoffe darzustellen und quantitativ zu bestimmen [1]).

§. 286. Man fängt die Blutanalyse damit an, dass man das Blut in nicht zu hoher Wärme eintrocknet und den Verlust, den der feste Rückstand anzeigt, als Wasser berechnet. Man pflegt dann [2]) 77,0 bis 80,1% und im Durchschnitt 79,1% für das venöse Aderlassblut des gesunden Menschen zu finden, so dass es hiernach ungefähr $^4/_5$ seiner Masse an Stoffen führt, die sich bei einer Wärme von 25° bis 40° C. verflüchtigen. So richtig dieses im Groben sein mag, so sehr fordert eine genauere Betrachtung eine andere Deutung. Lassen wir auch die Bestimmungsfehler, welche die in grösseren Stücken der eingetrockneten Masse zurückbehaltene Feuchtigkeit oder umgekehrt die hygroskopische Eigenschaft des gepulverten oder sonst zerkleinerten festen Rückstandes erzeugt, unbeachtet, so gehen nicht bloss Wasserdämpfe, sondern auch andere, bei den erwähnten Wärmegraden flüchtige Körper davon. Man muss daher diese bei der Wasserbestimmung mit einschliessen.

---

[1]) Zahlreiche Angaben über die quantitative Zusammensetzung des Blutes nach fremden oder eigenen Erfahrungen finden sich bei: R. L. le Canu, Études chimiques sur le sang humain. Paris 1837. 4. p. 9—128. Nasse a. a. O. S. 129—220. Andral und Gavarret, Ann. de Chimie. Tome LXXV. 1842. p. 225—322. J. J. Scherer, Chemische und mikroskopische Untersuchungen zur Pathologie. Heidelberg 1843. 8. S. 68. 76. 88. 131. A. Becquerel und A. Rodier, Untersuchungen über die Zusammensetzung des Blutes in gesundem und krankem Zustande. Uebersetzt von Eisenmann. Erlangen 1845. 8. Popp, Untersuchungen über die Beschaffenheit des menschlichen Blutes in verschiedenen Krankheiten. Leipzig 1845. 8. Lehmann a. a. O. S. 152—271. L. Gmelin, Handbuch der Chemie. Bd. VIII. Bearbeitet von C. G. Lehmann und Rochleder. Heidelberg 1858. S. S. 109—216. Gorup-Besanez a. a. O. S. 287—355. Eine Uebersicht der das Blut betreffenden Arbeiten aus neuester Zeit gibt Huppert in Schmidt's Jahrb. Bd. CXXII. 1864. S. 3—25 und S. 145—166.

[2]) Ich entnehme hier und im Folgenden die Einzelzahlen, die übrigens nahezu ähnlich in den anderen Analysen wiederkehren, den Angaben von A. Otto bei Gorup-Besanez a. a. O. S. 317.

§. 287. Die für die unorganischen Salze angenommenen Zahlen werden in ähnlicher Weise wie bei der Analyse der übrigen organischen Körper gewonnen. Man verdampft und verkohlt eine gewogene Menge Blutes, zieht die in kochendem Wasser löslichen Bestandtheile aus und verwandelt endlich den kohligen Rückstand in Salze, die man als unlösliche berechnet. Der Eisengehalt des Blutes bedingt es, dass die Asche röthlich erscheint. Die gewöhnlich vorkommenden Salze sind die Chloride des Kalium und des Natrium, das schwefelsaure Kali, die Kohlensäure- und die Phosphorsäureverbindungen des Kali, des Natron, des Kalkes und der Bittererde. Eisen, Mangan und Kieselsäure, deren Combinationsform man nicht anzugeben pflegt, treten noch in geringen Mengen auf. Die auf diese Weise dargestellten Salze betragen im Menschenblute 0,5 bis 1,0% und im Durchschnitt 0,8%. Die Menge des Eisens gleicht nach BOUSSINGAULT[1]) 0,05%.

§. 288. Alle Schwächen, an denen diese Untersuchungen leiden, wiederholen sich für die Aschenbestimmungen der sämmtlichen pflanzlichen oder thierischen Körper. Man kann verschiedene Gewichtsmengen der Salze erhalten, je nachdem man stärker oder schwächer glüht, je nachdem sich dann mehr oder weniger Kohlensäure verflüchtigt und schwefelsaure und phosphorsaure Verbindungen in Schwefel- und Phosphormetalle verwandelt werden. Die Alkalien, die mit organischen Säuren oder organischen Körpern überhaupt in dem frischen Theile verbunden sind, gehen in kohlensaure Salze bei dem Glühen über, ohne dass man anzugeben vermag, wie viel dieser Antheil beträgt. Enthält das Blut eine organische Alkaliverbindung, so zählt eine gewisse Menge ihrer Bestandtheile doppelt, indem man einerseits das Gewicht des organischen Stoffes aufführt und anderseits der Kohlenstoff in der Kohlensäure der Asche von Neuem wiederkehrt. Die gegenseitige Combination der gefundenen einfachen Körper, Säuren oder Alkalien mit einander wird in der Regel willkürlich angenommen. Man berücksichtigt endlich nicht den Hauptpunkt, auf den es bei einer irgend scharfen Betrachtungsweise ankommt, wie viel von den Alkalien, Erden und Metallen mit organischen Körpern und wie viel mit den in der Asche auftretenden unorganischen Säuren in dem lebenden Theile verbunden war.

---

[1]) BOUSSINGAULT, Compt. rend. Tome LX. 1865. p. 880—884.

§. 289. Die Gerinnung des Blutes führt zu der Nothwendigkeit, analytische Angaben über die Zusammensetzung des Blutwassers und des Blutkuchens neben denen über die Bestandtheile des Blutes im Ganzen zu machen. Man findet z. B. auf diese Weise, dass das Serum des Menschenblutes 90,4 bis 91,1% und im Mittel 90,8% Wasser und 0,7 bis 1,2% und im Durchschnitt 0,95% löslicher Salze enthält, also ungefähr $^9/_{10}$ flüchtige und $^1/_{10}$ dichte Bestandtheile führt. Abgesehen von den auch hier giltigen, §. 286 und §. 288 angeführten Bemerkungen berücksichtigt man häufig nicht, dass das Serum, wie es wirklich ist, noch eine gewisse Menge von Blutkörperchen beigemengt enthält, die auch häufig genug mit ihm durch das Filtrum gehen, und vernachlässigt in der Regel die Controle, welche die vergleichende Bestimmung der Menge und des festen Rückstandes des Blutkuchens möglich macht[1]).

§. 290. Wir haben §. 243 gesehen, dass die Gerinnung des Blutes nur einen Theil des in der Blutflüssigkeit enthaltenen Eiweisskörpers in der festen Form des Faserstoffes ausscheidet. Die Summe dieses letzteren und die des Serumeiweisses muss hiernach der Gesammtsumme des Bluteiweisses gleichen. Brücke gibt in der That an, dass die durch Essigsäure oder durch Ammoniak am Gerinnen verhinderte Blutflüssigkeit eben so viel Eiweiss in der Siedhitze niederfallen liess, als dem Faserstoff und Eiweiss bei der Gerinnung entsprochen haben würde. Die Procentwerthe, welche die Analysen des gesunden Menschenblutes angeben, können nicht für jenen Aequivalentsatz des frischen und des geronnenen Blutes zeugen, weil man das Verhältniss der Menge des Serums zu dem des Blutes nicht kennt. Das Serum soll 0,75 bis 0,80% und im Durchschnitt 0,93% Eiweiss, das frische Blut dagegen

---

[1]) Es seien q die Menge des zur Untersuchung verwendeten Blutes, s die in ihm enthaltene Menge von Serum und q—s die des Blutkuchens, die absoluten festen Rückstände des ganzen Blutes, des Serum und des Blutkuchens betrügen $\frac{q}{a}$, $\frac{s}{b}$ und $\frac{q-s}{e}$, so hat man zunächst

$$\frac{q}{a} = \frac{s}{b} + \frac{q-s}{e}.$$

Sind alle Bestimmungen richtig gemacht worden, so müssen die gefundenen Zahlenwerthe der Bedingung entsprechen:

$$\frac{q}{s} = \frac{1 - \frac{e}{b}}{1 - \frac{e}{a}} \qquad (75)$$

da immer $e < a < b$ ist.

0,63 bis 0,72% Eiweiss und 0,14 bis 0,26% Faserstoff führen. Die Mittelwerthe beider betragen 0,68% und 0,20%. Man würde irren, wenn man hieraus schliessen wollte, dass das Serum mehr Eiweiss enthält als das frische Blut oder mehr als die Summe des Eiweisses und des Faserstoffes des letzteren. Da die Verhältnissmenge von Serum und Blutkuchen in den mannigfachen Blutarten wechselt, so erlauben die verschiedenen Analysen nicht, einen zuverlässigen Mittelwerth zu ziehen. Sie geben überhaupt keinen vollständigen Begriff von der wahren Zusammensetzung. Wäre dieses nicht der Fall, so würden jene Durchschnittszahlen einen Anhaltpunkt liefern, die mittleren Verhältnissmengen des Serum und des Blutkuchens zu berechnen [1]. Die oben angeführten Zahlen liessen dann z. B. schliessen, dass der Blutkuchen 48% und das Serum 52% des Blutgewichtes durchschnittlich in Anspruch nimmt.

§. 291. Die Eiweissbestimmung durch Kochen hat den Nachtheil, dass häufig noch andere Körper gefällt oder niedergerissen werden und sich wiederum nicht alles Eiweiss auf diesem Wege ausscheidet. Man erhält nicht selten zu wenig aus dem letzteren Grunde. Ein Zusatz von Salpeter- oder Essigsäure sichert auch nicht vor allen Irrungen. Die Behandlung mit Säuren bietet ähnliche Uebelstände dar. Der Vorschlag von HOPPE-SEYLER [2], das Eiweiss nach Maassgabe der Drehung der Polarisationsebene zu bestimmen [3], stösst leicht auf Schwierigkeiten bei der Ausführung

---

[1]) Nennt man wiederum q die Blutmenge, a die Procente des Eiweisses und b die des Faserstoffes, die sie enthält, s die Menge des Serum und c die Procentmenge des Eiweisses, die sie führt, so sind die beiderseitigen absoluten Eiweissmengen $\frac{aq}{100}$ und $\frac{cs}{100}$ und die absolute Faserstoffmenge $\frac{bq}{100}$. Der Aequivalentsatz gibt also die Gleichung: $bq = aq - cs$. Mithin:

$$\frac{q}{s} = \frac{c}{a-b} \tag{76}$$

Macht man $a = 0{,}68$, $b = 0{,}20$ und $c = 0{,}93$, so findet man $q : s = 1 : 0{,}52$.

[2]) HOPPE-SEYLER, Handbuch der Analyse. 2. Auflage. Berlin 1865. 8. S. 298.

[3]) Eine drehende Flüssigkeit hat die Eigenschaft, die Polarisationsebene eines polarisirten Strahles (§. 262) um einen gewissen Winkel nach rechts oder nach links zu wenden. Die Grösse desselben wächst mit den Farben, wenn man im Spectrum von Roth nach Violett fortschreitet. Sie nimmt in gleichem Verhältnisse der Dichtigkeit und des Weges des Lichtstrahles durch die Flüssigkeit zu. Man untersucht gewöhnlich in rothem Lichte, weil die Rubingläser das verhältnissmässig einfarbigste (immer aber noch stark gemischte) Licht unter allen gefärbten Gläsern liefern. Hat die Säule der geprüften Flüssigkeit die gleiche Länge in allen Versuchen, so nimmt der Drehungs-

und kann nur dann zuverlässige Werthe geben, wenn keine anderen rechts oder links drehenden Körper nebenbei vorhanden sind. Die Frage aber, wann dieses der Fall ist und wann nicht, lässt sich schwerer, als es auf den ersten Blick scheint, entscheiden [1]). Man

winkel in annähernd gleichem Verhältnisse der Concentration zu. Das Dextrin, das bei der Umwandlung der Stärke in Stärkezucker auftritt, dieser und der früher fest gewesene und dann aufgelöste Traubenzucker, der Leberzucker und der reine Rohrzucker drehen die Polarisationsebene nach rechts, das Inulin dagegen, der vorher noch nicht fest gewesene Traubenzucker, der unkrystallisirbare Honigzucker, das Morphin, das Amygdalin, das Cholesterin und das Eiweiss nach links. Der Drehungswinkel fällt also zu klein aus, man berechnet aus ihm eine zu geringe Eiweissmenge, wenn einer der zuerst genannten Körper und eine zu grosse, wenn ein solcher der zweiten Kategorie neben dem Eiweisse in dem Serum vorhanden ist.

[1]) Da man den Syrupgehalt der in Zuckerfabriken gewonnenen Flüssigkeiten durch die Drehung der Polarisationsebene zu bestimmen pflegt, so nennt man die zu diesem Zwecke gebrauchten Vorrichtungen die Saccharimeter oder Zuckermesser. Das von Soleil mit verschiebbaren Quarzkeilen und einer Doppelplatte von Quarz wurde bis jetzt zu den feinsten Untersuchungen der Art und daher auch zu den quantitativen Bestimmungen von Zucker oder Eiweiss in thierischen Flüssigkeiten benutzt. Wild hat in neuester Zeit sein Photometer (Pogg. Ann. Bd. CXVIII. 1863. S. 193—240) als Saccharimeter eingerichtet (Pogg. Ann. Bd. CXXII. 1864. S. 626—630). Die Prüfung einer grösseren Vorrichtung der Art überzeugte mich, dass sie wesentliche Vortheile vor einem vergleichungsweise untersuchten, von Schmidt verfertigten Soleil-Ventzke'schen Apparate (vgl. Handwörterbuch der Chemie. Redigirt von Fehling. Bd. IX. Braunschweig 1864. 8. S. 1105. S. Muspratt, Chemie in Anwendung auf Künste und Gewerbe. Zweiter Anhang. Braunschweig 1862. 4. S. 205—222. Hoppe-Seyler, Handbuch. 2. Auflage. S. 27. 28) darbietet. Ich muss aber hervorheben, dass auch kleinere Wild'sche Saccharimeter ohne festes Fussgestell verfertigt werden, die nur für ungefähre Bestimmungen passen. (Die Abbildung eines solchen findet sich bei Hoppe-Seyler a. a. O. S. 392. Fig. 12.) Meine Beobachtungen beziehen sich auf ein grösseres Instrument, dessen Kreis in halbe Grade getheilt und mit einem Nonius von 25 Theilen versehen ist, so dass dieser $^1/_{50}$ Grad angibt. Es besitzt zwei Arten von Quarzpolariskopen. Das eine besteht aus zwei senkrecht gekreuzten, unter 45° zur optischen Achse geschnittenen dicken Quarzplatten, wie in dem Photometer (Pogg. Ann. Bd. CXVIII. S. 210). Es dient für den Gebrauch weissen Lichtes oder die Untersuchung mit einem Rubinglase. Das zweite, das nur einen einfachen Quarz der Art enthält, wird für die Benutzung der gelben Kochsalzflamme nach Entfernung des ersten eingeschraubt. Besondere Marken bezeichnen die in beiden Fällen genau einzuhaltenden Stellungen des Polariskopes und des analysirenden Nicols.

Ein wesentlicher Vortheil des Wild'schen Zuckermessers vor dem Soleil'schen besteht zunächst darin, dass man die Bestimmungen, die nicht auf die grösstmögliche Genauigkeit Anspruch machen, in gewöhnlichem Tageslichte durchzuführen vermag. Die von mir benutzte Vorrichtung gestattet dieses z. B. noch für eine 10procentige Zuckerlösung bei 30 und für mässig gefärbten Menschenharn bei 20 Centimeter Säulenlänge. Jene erlaubte überdies die Einschaltung eines Rubinglases, diese dagegen nicht. Die

ist nicht berechtigt, den Theil des Eiweisses, der sich nach einem Zusatze von Essigsäure niederschlägt, als einen eigenthümlichen

---

beiden ersten unten angeführten Messungsreihen einer Rohrzuckerlösung wurden nicht nur bei dem Lichte eines mit Wolken bedeckten Himmels durchgeführt, sondern ich setzte auch noch einen Schirm von Stearinpapier vor, um eine gleichförmigere Beleuchtung herzustellen.

Die Soleil'sche Vorrichtung fordert als Ausgangspunkt, dass die beiden Hälften des Doppelquarzes dieselbe blauviolette Farbe zeigen, die Biot die neutrale, die empfindliche oder die Uebergangsfarbe nannte. Hat man dann das Zwischenrohr mit der drehenden Flüssigkeit gefüllt, so geben die zwei halben Kreisflächen ungleiche Färbungen, z. B. Roth und Blau. Man schiebt hierauf den aus zwei Quarzkeilen bestehenden Compensator so ein und zusammen, dass wiederum die beiden Flächen die gleiche Uebergangsfarbe zeigen und bestimmt hiernach die Drehung für diese Art farbigen Lichtes. Wer Farben scharf sieht, wird Mühe haben, eine völlige Farbengleichheit zu erzielen und oft noch Verschiedenheiten bemerken, wenn er nach dem Ausruhen des Auges abermals in die Vorrichtung blickt. Gehen schiefe Strahlen durch den Doppelquarz, so ändert sich auch die Farbe des Wechsels der Dicke wegen. Diese Uebelstände machen die Bestimmungen in ziemlich weiten Grenzen zweifelhaft. Die gewöhnliche hierauf begründete Angabe der Rotationswirkung, $(\alpha) = \frac{100 . \alpha V}{l . P}$, wo α den gefundenen Drehungswinkel, V das Einheitsvolumen der Lösung, P die in ihm enthaltene Gewichtsmenge des drehenden Körpers und l die Säulenlänge der Flüssigkeit bezeichnet und (α) sich auf die Uebergangsfarbe bezieht, ist daher mit weiten Fehlergrenzen behaftet. Dazu kommt noch, dass man Röhren von mehr als einem Decimeter Länge bei der Prüfung des Harnes z. B. der geringen Lichtstärke wegen selbst bei der Benutzung einer hellen Gasflamme nicht gebrauchen kann. Man misst überdies zunächst nicht die Drehung der Flüssigkeit, sondern die Compensation der Quarzkeile und hat daher alle Fehler, die von der Anfertigung von diesen abhängen, die selbst bei der genauesten Arbeit nie völlig beseitigt werden können und sich in ungleichem Grade für die verschiedenen Messungen geltend machen. Der Ausgangspunkt, dass 100 Skalentheile des Saccharimeters der Drehung von einem Millimeter Quarzdicke entsprechen, ist daher immer unsicher.

Die Wild'sche Vorrichtung besitzt, wie erwähnt, eine bedeutendere Lichtstärke und misst unmittelbar, was man messen will, nämlich die Drehung der Flüssigkeit. Man kann sich bei ihr controliren, indem man das Verschwinden der Interferenzstreifen in den vier Quadranten der Kreistheilung vor, während und nach der Einschaltung der Flüssigkeit bestimmt, sich also nicht bloss vor zufälligen Beobachtungsfehlern, sondern auch vor den durch die Mängel der Kreistheilung und der Centrirung bedingten Irrungen möglichst sichert. Da der Drehungswinkel mit den Farben wechselt, so können nie die Interferenzstreifen in weissem Lichte vollständig ausgelöscht werden. Man muss daher hier die geringste Lichtstärke derselben in der unmittelbaren Nachbarschaft des Kreuzungspunktes der beiden Fäden des Fernrohres als Ausgangspunkt nehmen. Dieser natürlich ungünstigste Fall lässt sich meist noch sicherer bestimmen, als die völlige Gleichheit der Uebergangsfarbe des rechts und des links drehenden Quarzes.

Ich untersuchte die Soleil-Ventzke'sche und die Wild'sche Vorrichtung mit einer filtrirten Auflösung von Hühnereiweiss, mit filtrirtem Serum des Rindsblutes, geschlagenem und

Stoff, das Serumcasein besonders aufzuführen, weil die Menge des Gefällten von den neutralisirten Salzen und nicht von zuverläs-

---

mit Wasser verdünntem Blute des Rindes, mit Amniosflüssigkeit des reifen menschlichen Eies und dem Harne des Menschen und gründete hierauf das eben ausgesprochene Urtheil. Eine Rohrzuckerlösung von 9,52% Gehalt und 1,0378 specifischen Gewichtes bei 19° C., die ich bei 15° C. und einer Säulenlänge von 201 Mm. prüfte, möge unmittelbar zeigen, wie sich die Werthe gestalten, wenn man das Mittel aus je drei Bestimmungen nimmt, diese aber in einem und demselben Quadranten macht. Ich suchte zuerst den Drehungswinkel der 9½procentigen Lösung, verdünnte diese hierauf mit dem gleichen Volumen Wassers und später wiederum ebenso die zweite Flüssigkeit. Es ergab sich:

Zuckergehalt in Gewichtsprocenten.	Drehungswinkel nach rechts in Winkelgraden von 360.		
	Gefordert.	Gefunden.	Unterschied.
a. Weisses Tageslicht bei bedecktem Himmel. Vorgestellter Schirm von Stearinpapier.			
9,52	—	14,45	—
4,76	7,23	7,09	—0,14
2,38	3,62	3,18	—0,44
b. Tageslicht und Schirm, wie früher. Vorgelegtes Rubinglas.			
9,52	—	11,37	—
4,76	5,69	5,44	—0,25
2,38	2,85	2,39	—0,46
c. Gelbe Kochsalzgasflamme.			
9,52	—	13,22	—
4,76	6,61	6,72	+0,11
2,38	3,31	3,12	—0,19

Die Unterschiede, welche die Verdünnungswerthe lieferten, rühren nicht bloss von Beobachtungsfehlern, sondern auch von den die Verdünnung begleitenden Dichtigkeitsänderungen her. Die vorherrschenden negativen Abweichungen deuten übrigens eine beständige Quelle derselben an.

Da die mit möglichst einfarbigem gelben Lichte gemachten Bestimmungen die genauesten sind, so wollen wir sie zur Berechnung der Zuckerconstante benutzen. Nennt man diese c, den gefundenen Drehungswinkel v, die in Grammen ausgedrückte Gewichtsmenge von Zucker, die in einem Liter der Lösung enthalten ist, p und die in Millimetern gegebene Länge der untersuchten Flüssigkeitssäule l, so hat man $pl = cv$ und daher $c = \frac{pl}{v}$, weil der Drehungswinkel in geradem Verhältniss der Dichtigkeit der wässrigen Lösung und der geprüften Säulenlänge derselben wächst. 1000 Grm. unserer Rohrzuckerlösung führten 95,2 Grm. Zucker. Da die Eigenschwere 1,0378 für 19° C. betrug, so enthielten dann 1000 Cubikcentimeter Lösung $95{,}2 \times 1{,}0378 = 98{,}8$ Grm. Da aber die Säulenlänge 201 Mm. und der Drehungswinkel für Gelb 13°,22 bei 15° C. betrug, so hat man $c = 1502{,}2$. Wollte man die Eigenschwere zu 1,04 für 15° C. annehmen, so erhielte man $c = 1504{,}5$. Wild fand in seinen Bestimmungen $c = 1505$.

sig nachweisbaren Eigenthümlichkeiten der organischen Verbindungen abhängt. Geht auch das Serumeiweiss schwerer und langsamer durch poröse Scheidewände als das Eiweiss der Hühnereier, so berechtigt dieses noch nicht zu der Annahme, dass jenes nur mechanisch vertheilt, dieses dagegen chemisch gelöst sei. Die Merkmale des Eiweisskörpers, der mit Blutfarbestoff verbunden in den Blutkörperchen vorkommt und den man das Globulin zu nennen pflegt, sind bis jetzt zu wenig festgestellt, als dass sich seine wahre Eigenthümlichkeit sicher angeben liesse. Die von BERNARD, SCHIFF, STOCKVIS, LEHMANN und KÜHNE beobachtete Thatsache, dass die Einführung mässiger Mengen von Hühnereiweiss den Harn eiweisshaltig macht, das Serumweiss dagegen diese Wirkung nicht ausübt, deutet auf feinere Unterschiede, über welche die gegenwärtige organische Chemie keine Rechenschaft geben kann.

§. 292. Das Schlagen des Blutes mit einem Holz-, Fischbein- oder Glasstabe[1]) (§. 242) hat zur Folge, dass sich die meisten Faserstoffflocken an diesem ansetzen. Man trennt sie für die quantitative Bestimmung von dem Stabe, presst das Ganze, nachdem man es in Leinwand gehüllt hat, aus und wäscht es so lange mit Wasser, bis es weiss oder weissgelb geworden. Der trockene Rückstand, den es hierauf hinterlässt, wird als Faserstoff berechnet. Man erhält dann unrichtige Werthe aus zweierlei Gründen. Die kleinsten Faserstoffflocken bleiben in dem Blutwasser und zwischen den Blutkörperchen (§. 241). Presst man aber den Blutkuchen selbst aus und wäscht ihn dann weiss, so gehen Faserstoffflocken durch die Poren der Leinwand. Viele entfärbte Blutkörperchen werden anderseits zwischen den Faserstoffmassen zurückgehalten. Beide Verfahrungsarten haben dann noch den gemeinschaftlichen Nachtheil, dass das Auswaschwasser lösliche Verbindungen entfernt. Eine gute Durchführung der §. 246 erwähnten Darstellung des Plasmins könnte noch zu den verhältnissmässig genauesten Zahlen führen. Man müsste

---

Die Schwankungen der Wärme zwischen 15° und 20° C. ändern die Zuckerconstante um keine die Grenzen der möglichen Beobachtungsfehler überschreitende Grösse. BIOT hatte schon gefunden, dass ein Zusatz der nicht drehenden Boraxsäure zu Weinsteinsäure und PASTEUR, dass ein solcher zu Aepfelsäure die drehende Wirkung der letztern erhöht. Dasselbe gilt auch für den Rohrzucker nach den Messungen von DEITE (C. DEITE, Qua vi sit temperatura in luminis polarisati planitie liquoribus rotata. Vratislaviae 1864. 8. p. 9 und p. 18. 19).

[1]) Die Abbildung einer hierfür bestimmten Vorrichtung siehe bei HOPPE-SEYLER, Handbuch S. 307. Fig. 10.

nur untersuchen, ob sich beträchtlich mehr oder weniger Faserstoff ausscheidet als bei der gewöhnlichen Gerinnung.

§. 293. Was man Extractivstoffe des Blutes und anderer organischer Körper nennt, besteht nur aus dem nicht näher bekannten Reste der übrigen analytischen Eingriffe, der aus den Mischungen verschiedenster Art zusammengesetzt ist. Sie liefern keine Belehrung, weil man einen grossen Theil der ihnen entsprechenden Werthe als blosse Beobachtungsfehler ansehen muss. Betragen sie im Blute 0,31 bis 0,66% oder im Durchschnitte 0,49% und im Serum 0,45 bis 0,55% oder im Mittel 0,52%, so heisst dieses, dass ungefähr ein halbes Procent durch eine Mischung bekannter und unbekannter Stoffe verloren geht.

§. 294. Zieht man den Rückstand des Blutes oder des Serums, nachdem man ihn mit heissem Wasser erschöpft hat, mit kochendem Weingeist oder Aether aus, um die Fette zu erhalten, so wäre es möglich, dass auch andere in jenen Flüssigkeiten lösliche Körper entfernt würden. Die mikroskopische Untersuchung dessen, was die Verdunstung zurücklässt, gibt bisweilen nähere Aufschlüsse. Verseifte Fette könnten möglicher Weise schon mit dem Wasser entfernt werden. Vollkommen sichere Mengenbestimmungen bestimmter Körper, wie der Seroline oder des Cholesterins, stossen auf noch grössere Schwierigkeiten.

§. 295. Das durch Schwefelsäure dargestellte Hämatin oder Hämatosin von LE CANU, das zum Theil auf ähnlichem Wege gewonnene von BERZELIUS oder von SANSON, das mit kohlensaurem Natron erhaltene Hämatin von ROBIN und VERDEIL, das mit kohlensaurem Kali ausgezogene von WITTICH[1]) und das durch Ammoniak und Chlorammonium bereitete von HOPPE-SEYLER[2]) bilden verschiedene Kunsterzeugnisse, deren quantitative Bestimmung ein nur mittelbares Interesse für die Zusammensetzung des lebenden Blutes hätte. Das Bemühen von HOPPE-SEYLER, das Hämatin desselben dadurch zu bestimmen, dass man den Eisengehalt mit der Zahl 10,1 vervielfältigt, oder die Farbe einer alkalisch gemachten Flüssigkeit mit der einer Hämatinlösung, deren Hämatinmenge mittelst des Eisengehaltes bestimmt worden, in Kästchen, die ebene Glaswände haben, in sogenannten Hämatinometern[3]) vergleicht, dürfte ebenfalls wesentliche Bedenken darbieten.

---

1) Die Darstellungsarten siehe bei GORUP a. a. O. S. 168. 169.

2) HOPPE-SEYLER, Handbuch S. 166.

3) HOPPE-SEYLER, Ebendas. S. 311. Fig. 11.

§. 296. Manche chemische Bestimmungen der Menge der Blutkörperchen behandelten diese in so rücksichtsloser Weise, dass man sich zu dem Ausspruche genöthigt sah, die chemischen Blutkörperchen bedeuteten etwas Anderes als die wirklichen. Die älteren Untersuchungsarten sollten nur den trockenen Rückstand der Blutkörperchen angeben. Man bediente sich dreier Wege, diesen zu ermitteln. Prevost und Dumas und nach ihnen Andral und Gavarret suchten die Menge des trockenen Faserstoffes in einer ersten und die des wasserfreien Rückstandes des ausgepressten Blutkuchens in einer zweiten Probe. Der Ueberschuss, den dieser über jenen gab, wurde als trockene Blutkörperchen berechnet. Man hatte hier alle der Faserstoffbestimmung anhaftenden Fehler (§. 292). Die Blutkörperchen, die in dem Serum schwebten und die, welche bei dem Auspressen des Blutkuchens davongingen, blieben unbeachtet. Der feste Rückstand des Blutkuchens entsprach nicht bloss den nicht flüchtigen Körpern des Faserstoffes und der trockenen Blutkörperchen, sondern auch denen des Serums, welches den Blutkuchen durchtränkte. Man kann unter diesen Verhältnissen nicht einmal angeben, ob das Verfahren zu grosse oder zu kleine Werthe in einem einzelnen Falle lieferte. Die Uebelstände wurden nur theilweise beseitigt, als Becquerel und Rodier den festen Rückstand des seines Faserstoffes beraubten Blutes bestimmten und von diesem die entsprechende Menge der dichten Bestandtheile des Serum abzogen, oder Popp das aus dem geschlagenen Blute sich abscheidende Blutwasser und den Blutkuchen gesondert untersuchte. Man muss noch bedenken, dass ein vollständiges Trockenen einer grösseren Masse des Blutkuchens unmöglich ist. Eine zufällig gewählte kleine Probe gibt keine Sicherheit für die gleiche Beschaffenheit an anderen Stellen, weil die Vertheilung von Faserstoff und Blutkörperchen mit dem Orte wechselt. Jeder durch die Analyse begangene Fehler wird aber in gleichem Verhältnisse mit der Grösse, auf die man ihn bei der Berechnung anwendet, vervielfältigt.

§. 297. Scherer trägt das defibrinirte Blut in kochendes Wasser ein und vervollständigt die Gerinnung durch einen vorsichtigen Zusatz von Essigsäure. Man bestimmt den festen Rückstand des auf diese Art erhaltenen Niederschlages als den der trockenen Blutkörperchen, nachdem man von ihm die aus der Serumanalyse bekannte entsprechende Eiweissmenge abgezogen hat. Hinterberger

und GORUP-BESANEZ bemerkten, dass die Menge der auf diese Weise berechneten trockenen Blutkörperchen weniger als die des früheren Verfahrens beträgt, weil das Wasser und die Essigsäure unbestimmte Mengen von Blutroth, Erdphosphaten und anderen löslichen Bestandtheilen ausziehen.

§. 298. FIGUIER und DUMAS versetzen das geschlagene Blut mit dem Sechsfachen seines Volumens einer dichten Glaubersalzlösung, bringen die Mischung auf ein Filter und leiten einen Strom von Sauerstoffgas oder von atmosphärischer Luft durch die auf dem Filtrum befindliche Flüssigkeit. Sie nehmen an, dass alle Blutkörperchen bei diesem Verfahren zurückbehalten werden. Haben sie sie mit Glaubersalzlösung ausgewaschen, so behandeln sie den Rest mit lauem Wasser bis zur Entfärbung, setzen Essigsäure hinzu und kochen. Der feste Rückstand des Niederschlages gibt die trockenen Blutkörperchen. Diese sind also ihres Farbestoffes und noch anderer organischer Bestandtheile und einer Reihe von Salzen beraubt.

§. 299. Man sieht hieraus, dass die trockenen Blutkörperchen von PREVOST und DUMAS und ihren Nachfolgern, die von SCHERER und die von FIGUIER und DUMAS drei verschiedenen Massen entsprechen. Die kritiklose Verwerthung der Blutanalysen, die man in vielen medicinischen Abhandlungen findet, wäre daher schon unberechtigt, wenn auch jede der erwähnten Verfahrungsarten scharfe Ergebnisse lieferte. Die Menge der trockenen Blutkörperchen kann keine befriedigenden Aufschlüsse geben, so lange man nicht weiss, mit wie viel Feuchtigkeit sie im Leben durchtränkt sind. C. SCHMIDT glaubte sich durch mikrometrische Messungen überzeugt zu haben, dass man das Gewicht der trockenen Blutkörperchen, die man nach einem dem Prevost-Dumas'schen Verfahren ähnlichen Untersuchungsgange bestimmt hat, mit 4 vervielfältigen müsse, um das der feuchten zu erhalten. Der Coëfficient 3,7 oder 4,3 gäbe schon unrichtige Werthe. Die Zahl 4 soll für den Menschen und alle Säugethiere passen. Die Untersuchungen von SACHARJIN [1]) bestätigten die begründeten Zweifel, die schon andere Forscher [2]) gegen diese Annahme geäussert hatten.

§. 300. HOPPE-SEYLER nimmt Blut, dessen Blutkörperchen sich rasch senken, so dass eine obere Schicht entsteht, die nur Blut-

---

[1]) SACHARJIN, Virchow's Archiv. Bd. XXI. 1861. S. 337—359. HUPPERT a. a. O. S. 3—5.

[2]) H. FRIEDBERG, Histologie des Blutes mit besonderer Rücksicht auf forensische Diagnostik. Berlin 1852. 8. S. 47.

flüssigkeit enthält. Man hebt sie mit der Pipette ab und bestimmt den durch Schlagen erhaltenen Faserstoff derselben. Untersucht man dann den Faserstoffgehalt des Gesammtblutes, so lässt sich aus diesem die Menge der Blutflüssigkeit berechnen. Die feuchten Blutkörperchen bilden den Rest. Da die langsame Abkühlung in Holzgefässen die Gerinnung merklich verzögert (§. 239), so kann man diese Nebenbedingung einführen, um die Analyse möglich zu machen. Ein Uebelstand besteht darin, dass sich jeder bei den Faserstoffbestimmungen gemachte Fehler auf das Endergebniss mit grossem Nachdrucke überträgt [1]). Das Verfahren setzt überdies die keineswegs unzweifelhafte Annahme voraus, dass die über den Blutkörperchen stehende und später gerinnende Blutflüssigkeit genau dieselbe Dichtigkeit habe als die des gesammten Blutes [2]).

§. 301. SACHARJIN fand z. B. nach diesem Verfahren 32,8 bis 36,3% feuchter Blutkörperchen im Pferdeblute, während der Coëfficient 4 die Werthe 43,2 bis 44,8% ergab. Der Mittelwerth von 6 Bestimmungen glich 34,4%, so dass hiernach das Gewicht der Blutkörperchen ungefähr ein Dritttheil von dem des Gesammtblutes ausmachen würde (§. 229). C. SCHMIDT hatte noch Berechnungen über die einzelnen Bestandtheile der Blutflüssigkeit und der Blutkörperchen nach seinem Verfahren aufgestellt. Beide enthielten hiernach Wasser, Chlorkalium, schwefelsaures Kali, phosphorsaures Natron, phosphorsaure Kalk- und Talkerde und freies Natron. Die Blutflüssigkeit würde überdies noch Faserstoff, Eiweiss, Extractivstoffe und Chlornatrium, die Blutkörperchen dagegen den eisenhaltigen Blutfarbestoff und das Globulin führen. Die diesen Verbindungen zugeschriebenen Zahlenwerthe [3]) bieten aber keine Sicherheit aus den oben angeführten Gründen dar. HOPPE-SEYLER [4]) nimmt an, dass die kernlosen Blutkörperchen des Menschen und der Säuge-

---

[1]) Gesetzt die überstehende Flüssigkeit habe a % und die Blutmenge c im Ganzen b Faserstoff gegeben, so hat man: $a : 100 = b : d$, also die Menge des Plasma $d = 100 \frac{b}{a}$ und die der feuchten Blutkörperchen $c - 100 \frac{b}{a}$. Das gegenseitige Verhältniss der Fehler der beiden Faserstoffbestimmungen erscheint also um das Hundertfache in dem Endergebniss vervielfältigt.

[2]) Das Analysenverfahren für gewöhnliches Blut siehe bei HOPPE-SEYLER, Handbuch S. 316. 317.

[3]) Das Verzeichniss derselben siehe z. B. bei LEHMANN a. a. O. Bd. II. S. 152. GORUP a. a. O. S. 318—320. GMELIN a. a. O. S. 142. 143.

[4]) HOPPE-SEYLER, Handbuch S. 304. 305.

thiere Hämoglobin und nur Spuren eines anderen Eiweisskörpers, phosphorsaures Alkali, etwas Cholesterin, Protagon und keine Fette enthalten. Die kernhaltigen der niederen Wirbelthiere führen diese Stoffe und Eiweiss in reichlicheren Mengen.

§. 302. Die alkalische Beschaffenheit des Blutes scheint mehr von der Blutflüssigkeit als den Blutkörperchen abzuhängen. Der rothe Blutfarbestoff oder das Hämoglobin dringt nach KÜHNE [1]) selbst nach Wochen nicht durch Dialyse (§. 111) durch Pergamentpapier. Es lässt dann hingegen Säuren austreten. Die Blutkörperchen sind daher auch weniger alkalisch.

§. 303. Man kann Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure aus dem hochrothen und dem dunkelrothen Blute treiben. Der Farbenunterschied hängt also nur von den verhältnissmässig grösseren Mengen des Sauerstoffes oder der Kohlensäure ab. Beide Gase sind wahrscheinlich zum Theil mechanisch gebunden und theilweise chemisch mit andern Körpern vereinigt. Die nähere Untersuchung dieser Blutgase gehört zu den schwierigsten, ja wahrscheinlich vorläufig zu den unlöslichen Aufgaben der physiologischen Chemie. Das gewöhnliche Auspumpen führt zu keiner vollständigen Entgasung, weil die sich entbindenden Wasserdämpfe eine Spannung erzeugen, die als Gegendruck den sonst nach dem Dalton'schen Gesetze (§. 97) erfolgenden Austritt der Luftarten beschränkt. Die Zähigkeit der Blutmasse hindert überdies die vollständige Entweichung. Leitet man z. B. Kohlenoxyd durch das Blut, so wird ein gleiches Volumen Sauerstoff für jedes aufgenommene Volumen jenes Gases ausgetrieben. Man kann auf diese Art allen Sauerstoff aus dem Blute entfernen und die Menge desselben annähernd bestimmen. Das Blut selbst führt dann reichliche Mengen von Kohlensäure und besitzt nicht mehr die Fähigkeit, Sauerstoff aufzunehmen. Versucht man wiederum alles Kohlenoxyd mittelst der Luftpumpe zurückzuerhalten, so findet man, dass man stets weniger bekommt als früher aufgenommen worden. Die Entgasung jeder Art von Blut begünstigt überdies die Auflösung der Blutkörperchen. Sie erzeugt nicht genau controlirbare Veränderungen, die wahrscheinlich oft genug mit selbstständiger Luftentwickelung in Folge von Zersetzungen verbunden sind. Es bleibt daher immer zweifelhaft, ob die einzelnen Gasmengen, die man mittelst der Luftpumpe erhalten hat, denen des lebenden Blutes wahrhaft entsprechen oder nicht.

---

[1]) KÜHNE, Virchow's Arch. Bd. XXXIII. 1865. S. 95.

§. 304. Während die älteren und die neueren Bemühungen, die auf diesem Gebiete gemacht wurden, die Wasserdampfspannung nicht berücksichtigten, und daher auch keine vollständige Entfernung der Kohlensäure gestatteten, kam PFLÜGER[1]) zu befriedigenderen Ergebnissen, indem er eine grosse Queeksilberpumpe von GEISSLER gebrauchte und die Blutgase trocknete, ehe er sie in den Toricelli'schen Raum strömen liess (§. 259). Untersuchungen, die er auf diese Weise mit Blut und Blutserum anstellte, führten ihn zu der Ueberzeugung, dass die Blutkörperchen einen Stoff einschliessen oder fortwährend erzeugen, der Kohlensäure aus dem kohlensauren Natron frei macht. Der grösste Theil von dieser ist wahrscheinlich ursprünglich in der Form eines kohlensauren Salzes im Blute enthalten [2]).

§. 305. Die Unbestimmtheit, die dem Begriffe des Ozons anhaftet, wenn man es selbst auf die noch nicht unzweifelhafte Annahme eines allotropischen Sauerstoffes bezieht und demgemäss negativ und positiv ozonisirten Sauerstoff, Ozon und Antozon unterscheidet, spiegelt sich auch in den Beziehungen desselben zu dem Blute ab. Bezeichnet man den zu Oxydationsvorgängen besonders geneigten Sauerstoff mit dem Namen des erregten, so liesse sich erwarten, dass er in reichlicher Menge in dem lebenden Blute auftritt, weil hier organische Verbindungen zu Kohlensäure und Wasser bei Wärmegraden rasch verbrennen, die sonst keine so schnelle theilweise oder vollständige Elementaranalyse herbeiführen. Die Untersuchungen, die SCHÖNBEIN, HIS, AL. SCHMIDT, STOCKES, KÜHNE und SCHOLZ [3]) mit dem Blute und den gewöhnlichen Prüfungsmitteln der Ozonwirkung, dem Stärkekleister und Jodkalium, der Guajaktinctur, der Indigolösung, sowie mit dem ozonisirten oder harzigen Terpentinöl anstellten, entsprachen jener Voraussetzung nicht vollständig. Die Blutkörperchen des Aderlassblutes geben bisweilen schon die Ozonwirkung. Sie bläuen daher die angesäuerte Mischung von Jodkalium und Stärkekleister oder die Guajaktinctur. Wird Wasser unter ihrem Einflusse zersetzt, so entbindet sich gewöhnlicher freier Sauerstoff. Man hat hierbei nach SCHÖNBEIN eine ähnliche Wirkung wie bei dem Einflusse des Pla-

---

[1]) E. PFLÜGER, Ueber die Kohlensäure des Blutes. Bonn 1864. 8. S. 5.

[2]) PFLÜGER a. a. O. S. 9—15.

[3]) Siehe: HIS, Virchow's Arch. für path. Anat. Bd. X. 1858. S. 483. AL. SCHMIDT, Ueber Ozon im Blute. Dorpat 1862. 8. S. 4—32. HUPPERT a. a O. S. 5—11. STOCKES a. a. O. p. 363. KÜHNE und SCHOLZ in Virchow's Arch. Bd. XXXIII. 1865. S. 96—110.

tins. Das Antozon des Wassers vereinigt sich mit dem durch den Einfluss jener Körper erzeugten Ozon zu neutralem Sauerstoff. Die Blutkörperchen entziehen das Ozon den Ozonträgern mit grossem Nachdrucke und nehmen es überhaupt begierig auf. Sie ändern dann die Ozonreagentien, erzeugen Kohlensäure und lösen sich leichter in der sie umgebenden Flüssigkeit. Hat man allen Sauerstoff durch das Schütteln mit Kohlenoxyd entfernt (§. 303), so besitzt auch das Blut nicht mehr die Fähigkeit, neuen Sauerstoff aufzunehmen. Es bläut dessenungeachtet immer noch jede Spur von Guajaktinctur auf das Nachdrücklichste. Dieser Versuch gelingt nicht bloss nach SCHMIDT an dem todten Blute, sondern auch nach KÜHNE und SCHOLZ an Blutmassen, die unmittelbar aus den Gefässen des lebenden Hundes stammen und mit Kohlenoxyd oder Kohlensäure gesättigt werden, nachdem man sich vor allen durch die Beimischung von Atmosphäre möglichen Irrungen gesichert hat. Eine wässrige Lösung des Blutfarbestoffes oder des Hämoglobins (§. 274) liefert hier dieselben Ergebnisse wie die Blutkörperchen im Ganzen. Beide ozonisiren den Sauerstoff gleich dem fein vertheilten Platin, ohne dass sie selbst eine bis jetzt nachweisbare Veränderung erleiden. Das Blut besitzt daher die Fähigkeit, den Sauerstoff in den erregten Zustand überzuführen. Es bildet zugleich einen Ozonträger, wie das ozonisirte Terpentinöl und verliert diese Eigenschaften nicht, wenn man selbst grosse Mengen von Wasserstoff, Kohlenoxyd oder Kohlensäure hindurchleitet. Der Saft von Boletus luridus und der von Agaricus sanguineus haben nach SCHÖNBEIN ähnliche Eigenschaften. Da die Durchleitung des Entladungsschlages der Elektrisirmaschinen den Sauerstoff der Luft ozonisirt, so lässt sich vermuthen, dass sich etwas Aehnliches für den des Blutes unter den gleichen Bedingungen wiederholt. Die §. 275 erwähnte Begünstigung der Krystallbildung im Blute und der Auflösung der Blutkörperchen könnte daher mit dem Uebergange von Sauerstoff in den allotropischen Zustand zusammenhängen[1]).

§. 306. Man gibt an, dass das Schlagaderblut mehr Wasser, Faserstoff, Blutfarbestoff, Extractivstoffe, Salze und Zucker und weniger Blutkörperchen als das Venenblut enthält. Das Pfortaderblut soll reicher an Wasser, an Blutroth, an Fetten, Extractivstoffen und Salzen und ärmer an Blutkörperchen, Globulin und Eiweiss als das Blut der Drosselvene sein und jenes grössere Mengen von Blut-

---

[1]) Vgl. A. SCHMIDT in Virchow's Arch. Bd. XXIX. 1864. S. 29—32.

flüssigkeit, Wasser, Blutfarbestoff, Eiweiss, Fetten und Salzen und kleinere von feuchten Blutkörperchen, Globulin und Extractivstoffen als das Lebervenenblut führen, das seinerseits verhältnissmässig viel Zucker und angeblich gar keinen Faserstoff liefert. Man glaubte endlich noch gefunden zu haben, das Blut der Männer enthielte weniger Wasser, Eiweiss, Fette, Extractivstoffe und Salze und mehr Blutkörperchen als das der Frauen. Das der Schwangeren sollte grössere Mengen von Wasser und Faserstoff und geringere von Eiweiss und Blutkörperchen besitzen. Das Kinderblut würde ärmer an Wasser, Faserstoff und Salzen und reicher an Blutkörperchen, Eiweiss und Extractivstoffen sein und das Blut der Greise mehr Wasser und weniger Eiweiss und Blutkörperchen führen. Man muss die Zuverlässigkeit aller dieser Angaben aus doppeltem Grunde bezweifeln, einerseits der Unsicherheit der Analysen wegen und anderseits, weil die Zahl der vorgenommenen Einzeluntersuchungen zu klein war, um zur Herleitung so allgemeiner Schlüsse zu berechtigen.

§. 307. Die Behauptung, dass alle Bestandtheile des Blutes mit Ausnahme des Wassers durch das Hungern ab- und zur Verdauungszeit zunehmen, hat keine allgemeine Gültigkeit. Man darf nur dann auf eine krankhafte Vermehrung oder Verminderung des Wassergehaltes des Blutes schliessen, wenn die Unterschiede so gross ausfallen, dass sie jenseit der weiten Grenzen der Beobachtungsfehler liegen. Dasselbe gilt von der angeblichen Vermehrung des Faserstoffes in Entzündungen, die auch nur von einer reichlicheren Menge des Gerinnungserregers herrühren kann (§. 243), der immer zweifelhaften Vermehrung der rothen Blutkörperchen bei Vollblütigkeit, Herzleiden und dem Anfange der Cholera, und der Verminderung bei der, wie wir sehen werden, nicht berechtigten angeblichen Anaemie, der Bleichsucht, dem Wechselfieber, dem Typhus und aufzehrenden Durchfällen, der Abnahme des Eiweisses bei Entzündungen, in bösartigen Fiebern, Wassersuchten und bei Eiweissharn, der Vermehrung der verseifbaren Fette und des Gallenfettes in hitzigen Krankheiten, Leberleiden, Tuberkelbildung, Eiweissharn und Cholera, und der Verminderung der Salze bei dieser und in Entzündungskrankheiten. Die sogenannte Hyperalbuminose oder der zu reichliche Eiweissgehalt des Blutes und die Angabe, dass das schwer gerinnbare Blut bei der Bluterkrankheit (Haemophilia), dem Scorbut und ähnlichen Leiden nicht weniger, sondern mehr Faserstoff als gewöhnlich liefert und grössere Wassermengen enthält, bedürfen noch einer zuverlässigeren Bestätigung.

§. 308. Eine sichere Ermittelung des Harnstoffgehaltes des Blutes ist dadurch unmöglich gemacht, dass der Eiweissniederschlag wechselnde Mengen von Harnstoff mit sich niederreisst. Die Angabe, dass er bei Fiebern, Eiweissharn, Harnruhr und Cholera vermehrt sei, ruht daher auf keiner zuverlässigen Grundlage. Die Zuckermenge des Blutes scheint sich zwar sicherer bestimmen zu lassen. Die Verwechselung dieses Körpers mit anderen ähnlich wirkenden organischen Verbindungen kann jedoch ebenfalls zu Irrungen führen. Untersucht man das Blut der Leiche oder eines lebenden Thieres, nachdem es gequält worden, so wird man mehr Trauben- oder Leberzucker als sonst finden. Das Gallenfett und die anderen Fettkörper lassen sich immer nur unvollkommen abscheiden. Sie sind dann zugleich nicht selten mit fremden Körpern so sehr gemengt, dass diese ihren Krystallen in reichlichen Mengen, wie die mikroskopische Untersuchung lehrt, anhaften. Die gefundenen Zahlen schliessen daher bald positive und bald negative Unrichtigkeiten ein. Bemerkt man in einer Blutart Ammoniak, Harnsäure, Hippursäure, Gallensäuren, grössere Mengen von gelbem gallenähnlichen Farbestoffe, Leucin, Tyrosin, Kreatin, Kreatinin, Glycin oder Sarcosin, so muss man sich immer fragen, wie viel von diesen Körpern die vorangegangene chemische Behandlung erzeugt oder zerstört hat. Die gefundenen Mengen aber dürfen immer nur als Werthe betrachtet werden, die mit sehr grossen möglichen Fehlern behaftet sind.

4. Erkenntniss des Blutes in gerichtlichen Fällen.

§. 309. Der gegenwärtige Zustand unserer Kenntnisse macht es nöthig, drei Arten von Fragen, die der Richter dem Arzte vorlegen kann, zu unterscheiden. 1) Enthält ein Fleck oder eine andere Masse Blut überhaupt oder nicht? 2) Rührt dieses von einem Säugethiere oder von einem zu einer andern Wirbelthierklasse gehörenden Geschöpfe her? und 3) Stammt es von dem Blute des Menschen oder eines Säugethieres? Es gibt Mittel, die beiden ersten Fragen in geeigneten Fällen mit Sicherheit zu entscheiden. Man ist dagegen nicht im Stande, sich über die dritte Frage mit Zuverlässigkeit auszusprechen. Der Gerichtsarzt muss daher die Antwort auf den wichtigsten Punkt schuldig bleiben.

§. 310. Keine der gröberen chemischen Proben[1]), die man früher gebrauchte, können mehr lehren, als dass organische Stoffe, die auch von anderen Massen als dem Blute möglicher Weise herrühren, in dem untersuchten Körper vorkommen. Besitzen sie schon desshalb einen bloss geschichtlichen Werth, so gesellt sich noch der Umstand hinzu, dass ihre Anwendung verhältnissmässig bedeutende Mengen der verdächtigen Masse voraussetzt. Hierher gehört der Nachweis von Eiweisskörpern und der von Kohle, Stickstoff, Cyankalium oder Ammoniak bei der Verbrennung oder einer entsprechenden Zersetzung durch Schwefelsäure, kaustische oder kohlensaure Alkalien. Da der Eisenrost in der Regel ammoniakhaltig ist, so kann die Ammoniakentwickelung bei dem Erhitzen nicht einmal die Anwesenheit eines organischen Stoffes mit Sicherheit beweisen. Die Bemerkung von Rose, dass Eisenrost mit Kali oder Natron geschmolzen und mit verdünnter Salzsäure und Eisenoxyduloxydsalzen behandelt, kein Berlinerblau, Hämatin dagegen solches liefert, ist höchstens als Nebenbeweis zu gebrauchen. Haftete der Blutfleck an Wäsche oder an anderen organischen Körpern, so könnte auf jenem Wege um so weniger bewiesen werden, als man oft nicht anzugeben wüsste, wie viel von diesen und wie viel vom Blute herrührt. Dass die rothe Farbe kein Merkmal abgebe, haben die Gräuel der Blutwunder mit nur zu blutigem Griffel in das Buch der Geschichte eingetragen[2]).

---

[1]) Eine Uebersicht der in neuerer Zeit vorgeschlagenen Blutproben gibt Huppert in Schmidt's Jahrb. Bd. CXVI. 1862. S. 273—286.

[2]) Eine Zusammenstellung der hierher gehörenden naturwissenschaftlichen Thatsachen findet sich bei F. Cohn, Die Wunder des Blutes. Breslau 1854. 8. Die rothe Färbung einzelner Lachen und Teiche kann von Eisenocker, von Haematococcus- oder Protococcusarten und von Euglena sanguinea herrühren. Eine Oscillatorie machte einmal das Wasser des Murtensees roth. Der blutige Schaum, der einzelne Stellen des rothen Meeres bedeckt, rührt von einer Oscillarie und die rothe Farbe des Meeres an der portugiesischen Küste von Protococcus atlanticus her. Die durch Wasser aufquellende und dann roth erscheinende Palmella cruenta gab hin und wieder zu dem Wahne Veranlassung, es sei Blut vom Himmel gefallen. Der rothe Schnee der Gletscher hängt von Protococcus nivalis ab. Die durch Pferdeurin entstehenden rothen Flecken des gewöhnlichen Schnees haben natürlich eine rein chemische Ursache. Philodina roseola kann in solchen Mengen vorkommen, dass die in ihrem Innern enthaltenen rothen Eier ausgedehnte Flächen roth erscheinen lassen. Die durch Monas prodigiosa oder durch rothe Schimmelbildungen auf Kartoffeln und andern stärkemehlhaltigen Nahrungsmitteln, also auch auf Hostien erzeugten blutrothen Flecke und Tropfen haben Tausenden von Menschen das Leben gekostet.

§. 311. Das Mikroskop kann die sichersten und die verhältnissmässig bestimmtesten Aufschlüsse geben. Man muss zu diesem Zwecke den Blutfleck mit einer dichten Zuckerlösung und nicht mit blossem Wasser aufweichen, weil es die Blutkörperchen ändert. Haben diese dann eine länglichrunde Gestalt und führen sie längliche Kerne, welche den sie einschliessenden Hüllentheil ihrer grösseren Dicke wegen emporwölben, so wird man schliessen, dass sie, wenn sie kleiner sind, von Vögeln, Schildkröten, Schlangen, Eidechsen oder Knochenfischen, und, wenn grösser, von Fröschen, Kröten, Land- oder Wassersalamandern herrühren[1]). Hat man biconcave scheibenförmige Blutkörperchen, so können nur die Cyclostomen, z. B. die Lampreten und die Petromyzonten überhaupt, die Säugethiere und die Menschen in Betracht kommen. Man entdeckt daher auch durch die mikroskopische Untersuchung den Betrug, wenn z. B. Hühnerblut in den Mund genommen worden, um Bluthusten oder Blutbrechen zu passender Zeit zu erheucheln. Es ist dagegen nicht möglich, die Blutkörperchen des Menschen von denen der Säugethiere zu unterscheiden. C. SCHMIDT fand zwar, dass die Durchmesser der meisten Blutkörperchen wenig oder gar nicht bei dem Eintrocknen abnehmen. 95 bis 98 % würden nach ihm, nur 60 % dagegen nach WELCKER nahezu dieselbe Grösse darbieten. Ihr Durchmesser läge zwischen 0,0069 und 0,0084 Mm. Der der trockenen Blutkörperchen des Menschen gleicht nach SCHMIDT im Durchschnitt 0,0077 Mm., des Hundes 0,0070 Mm., des Kaninchens oder der Ratte 0,0064 Mm., des Schweines 0,0062 Mm., der Maus 0,0061 Mm., des Rindes 0,0058 Mm., des Pferdes 0,0057 Mm., der Katze 0,0056 Mm. und des Schaafes 0,0045 Mm.[2]). Da aber die Schwankungen, welche die verschiedenen Blutkörperchen eines und desselben Tropfens darbieten, einen grossen Theil dieser Unterschiede verwischen, so wäre es nicht gerechtfertigt, sich für die Anwesenheit von Menschenblut nach dem Ergebnisse mikrometrischer Messungen auszusprechen.

§. 312. Wurde das Blut mit Wasser verdünnt und trocknete es später ein, so kann der Fleck roth erscheinen, ohne dass man in ihm andere als kugelige und entfärbte Körperchen erkennt

---

[1]) Die grössten überhaupt finden sich in den Perennibranchiaten, also in Europa in Proteus anguineus, und die umfangreichsten von allen in Cryptobranchus japonicus.

[2]) Die grössten und die kleinsten Werthe finden sich verzeichnet bei LEHMANN Bd. II. S. 150. Ueber die Schwankungen der absoluten Werthe bei solchen Messungen siehe oben §. 227 Anmerk. 3.

(§. 311). Das langsame Eintrocknen führt zu vielen sternförmigen oder sonst unregelmässigen Gestalten. Die Berührung mit Säuren kann ihre Formen wesentlich geändert und sie oder die mit Alkalien den grössten Theil derselben aufgelöst haben.

§. 313. Viele eingetrocknete Blutflecke zeigen keine oder nur sehr wenige Blutkörperchen, nachdem man sie mit Zuckerlösung aufgeweicht hat. Andere lassen keine bestimmten Gestalten derselben erkennen. Man sieht oft Schollen, die leicht für Epithelialzellen gehalten werden. Es gelingt bisweilen, die Blutkörperchen sichtbar zu machen, wenn man sie mit verdünnter Essigsäure behandelt und später Jodtinctur der Mischung zusetzt. Sie quellen dann auf und bilden gelbliche Kugeln. Die Grössen können immer andeuten, ob das Blut von einem Säugethiere oder einem Vogel, einem Reptil oder einem Knochenfische stammt. FRIEDBERG [1]) gibt noch an, dass Blutflecke, die ein Jahr an der Luft gelegen hatten, nur Blutkrystalle und keine Blutkörperchen als Wahrzeichen des Blutes darboten.

§. 314. Versagt die mikroskopische Untersuchung, so versucht man die spectroskopische Prüfung (§. 263 fgg.). Es handelt sich hierbei vor Allem, ein Spectroskop zu gebrauchen, das ein sehr helles Spectrum liefert. Man kann daher keines mit einem oder mehreren dichten Glasprismen benutzen, sondern muss eines wählen, das ein mit dünnen und möglichst planparallelen Glaswänden versehenes Schwefelkohlenstoffprisma besitzt. Ein kleines dient besser, weil weniger Licht durch Absorption verloren geht. Wenn z. B. LEUBE [2]) die Blutbänder nicht ganz bis zu den Verdünnungsgraden verfolgen konnte, wie ich es vermochte, so lag dieses nur darin, dass das von ihm gebrauchte Schwefelkohlenstoffprisma nicht so hell als das meinige war. Man kann natürlich unter diesen Verhältnissen im Allgemeinen nicht angeben, bis zu welchen Verdünnungsgraden die spectroskopische Erkenntniss des Blutes hinabgeht. Nehme ich Schichten von 1 bis $1^1/_2$ Centimeter Dicke, so erkenne ich noch die durch die Blutbänder erzeugten Schatten auf das Deutlichste, wenn das freie Auge keine oder nur eine Spur von röthlicher Färbung in der Flüssigkeit bemerkt [3]).

---

[1]) H. FRIEDBERG, Histologie des Blutes mit besonderer Rücksicht der forensischen Diagnostik. Berlin 1852. 8. S. 71.

[2]) LEUBE in Moleschott's Untersuchungen. Bd. IX. 1863. S. 217—225.

[3]) Das schon §. 256 Anm. 1 erwähnte Verfahren, geringe Blutmengen durch die Prüfung langer Flüssigkeitssäulen zu erkennen, lässt sich auch hier zur Ergänzung anwenden.

Das gewöhnliche Blut lässt sich auf diese Weise in Verdünnungen von $^1/_{1600}$ bis $^1/_{8000}$ nachweisen. Man kann sogar noch stark gefärbte Blutmassen bei $^1/_{11000}$ bis $^1/_{18000}$ erkennen [1]).

§. 315. Haftet der verdächtige Fleck an Glas oder an einem anderen durchsichtigen Körper, so bringt man ihn unmittelbar vor die Spalte des Spectroskopes, da das eingetrocknete Blut und die Blutkrystalle die Blutbänder ebenfalls zeigen (§. 268). Gelingt diese Untersuchung nicht, so löst man den Fleck in wenig Wasser auf, verdunstet die Flüssigkeit so, dass der feste Rückstand einen möglichst kleinen Raum einnimmt und wiederholt die Prüfung mit der dichteren Masse. Man kann auch vorher die Lösung in einer möglichst dicken Schicht am Spectroskope untersuchen. Steht nur wenig Flüssigkeit zu Gebote, so nimmt man sie in einer dünnen Röhre auf und stellt diese der Länge nach so vor die Spalte des Spectroskopes, dass der Lichtstrahl parallel der Längsachse durchgeht, oder bedient sich noch der §. 266 erwähnten und in Fig. 5 erläuterten Zurückwerfungsröhre.

§. 316. Da die Blutbänder in allen rothen Blutarten wiederkehren, so kann die spectroskopische Prüfung nicht anzeigen, von welcher Klasse von Wirbelthieren das Blut stammt. Sie vermag dagegen Eigenthümlichkeiten zu verrathen, über welche andere Prüfungen keinen Aufschluss geben. War das Blut z. B. in Kloaken mit Schwefelwasserstoff zusammengetroffen, so kann sich dieses durch das Schwefelwasserstoffband (§. 269) verrathen. Die Einwirkung der Säuren wird das Säurespectrum (§. 271) erzeugen. Sie kann aber auch die Blutbänder unsichtbar machen. Die Behandlung mit Essigsäure vermag in diesem letzteren Falle immer noch ein Häminspectrum (§. 271) herzustellen. Galle oder andere nicht zu saure Flüssigkeiten, die so wenig Blut enthalten, dass man es weder durch die Färbung, noch mit Sicherheit durch das Mikroskop oder durch chemische Reagentien erkennt, liefern immer noch die nachdrücklichsten Blutbänder. Die spectroskopische Untersuchung gibt endlich wesentliche Aufschlüsse über andere rothe Massen. Wird der blutähnliche Rückstand eines durch Euglena sanguinea roth

Ich hatte einen Theil Rindsblut mit 1599 Theilen Wassers verdünnt. Die Flüssigkeit, die dem freien Auge nur gelblich erschien und schwach schattige Blutbänder in dem Spectroskope lieferte, besass eine stark rothe Färbung, wenn man sie bei einer Säulenlänge von 20 Centimetern in durchfallendem Lichte betrachtete.

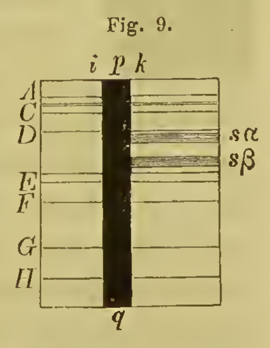
[1]) Siehe das Nähere in: Der Gebrauch des Spectroskopes. Leipzig und Heidelberg 1863. 8. S. 75—78.

gefärbten Wassers (§. 310) in Weingeist gelöst vor das Spectroskop gebracht, so erhält man nicht die Blutbänder, sondern das Spectrum des Blattgrüns (§. 263). Man sieht hieraus, dass der blutrothe Farbestoff dieses Aufgussthieres nicht von Hämatin, sondern von dem rothen Bestandtheile des Blattgrüns herrührt. Euglena sanguinea und E. viridis enthalten den gleichen Farbenkörper in zweierlei Abarten [1]). Die rothen Farbestoffe des Anilins (§. 263) und der des Carmins liefern ebenfalls andere Bänder, der Muskelfarbestoff dagegen die gleichen, wie das Blut. Wir haben endlich schon §. 272 gesehen, wie das Verbleiben des Zwischenbandes statt der gewöhnlichen Blutbänder trotz der Behandlung mit Sauerstoff zur Erkenntniss der Kohlenoxydvergiftung nach Hoppe-Seyler dienen kann.

§. 317. Will man sich vor Täuschungen sichern, so lässt man am Besten eine hell leuchtende Skale auf das Spectrum projiciren und sieht, welchen Graden z. B. die Blutbänder $s\alpha$ und $s\beta$ oder andere Absorptionsstreifen entsprechen. Vergleicht man hiermit die von Auflösungen bekannter Körper, so kann man die Uebereinstimmung oder die Verschiedenheit um so sicherer feststellen. Man darf nur nicht übersehen, dass bisweilen die Breite der Streifen mit der Concentration wechselt. Untersucht man eine Flüssigkeit, die nur noch die letzten Reste der Absorptionsstreifen darbietet, so stellt man die Spalte des Spectroskopes wagerecht, so dass das Spectrum von Roth zu Violett in senkrechter Richtung fortschreitet. Schaltet man nun zwei Röhren oder noch besser zwei durchsichtige Plangefässe (§. 295), von denen das eine i mit der Blutverdünnung und das andere k mit reinem Wasser gefüllt ist, ein, so wird man z. B. die Schatten $s\alpha$ und $s\beta$ nur in der einen Hälfte pqk des Spectrums wahrnehmen.

Fig. 8.

Fig. 9.



§. 318. Vermisst man die Blutbänder, so darf man hieraus nicht auf die Abwesenheit von Blut schliessen. Das flüssige Blut kann an der freien Luft durchgreifend faulen oder Jahre lang in

[1]) Die tief blauen Gläser des Simmler'schen Erythroskopes lassen das Pflanzengrün tief roth erscheinen, weil sie nur diese Farbe, nicht aber das Grün durchlassen. Siehe: Das Spectroskop S. 50 und S. 68.

einem geschlossenen Glase aufbewahrt werden, ohne desshalb die Fähigkeit zu verlieren, die Blutbänder selbst in den bedeutendsten Verdünnungen darzubieten. Man vermisst sie dagegen nicht selten in dem getrockneten Blute, wenn dieses nur dünne Schichten bildet und das Wasser nur wenig aufnimmt, weil z. B. das Hämatin durch Eisenrost oder einen anderen Körper in eine unlösliche Verbindung übergegangen ist. Eine schwache kaustische oder kohlensaure Alkalilösung kann dann zur Aufnahme am Besten dienen. Sie gewährt noch den Vortheil, dass bisweilen die Flüssigkeit den zweifarbigen Zustand des Blutes (§. 261) verräth. Die Siedhitze, nicht aber das Gefrieren bei —3° bis —10°, und eben so Säuren, Alkalien, saure oder alkalische Salze und wahrscheinlich auch die unter freier Sauerstoffwirkung erfolgende nachdrückliche Selbstzersetzung des festen Rückstandes oder des flüssigen Blutes an der Luft können die Blutbänder zerstören, ohne desshalb die rothe Farbe zu beseitigen.

§. 319. Gelingt es, Häminkrystalle (§. 280) abcdef Fig. 10 darzustellen, so reicht die unbedeutendste Menge derselben zu dem Nachweise von Blut hin, wie Brücke zuerst hervorhob. Sie sind so klein, dass man sie erst unter einer 200- bis 300-maligen Vergrösserung deutlich erkennt. Liefern schon ihre rhombischen Platten oder Säulen charakteristische Gestalten, so kann man ihren nachdrücklichen Polychroismus (§. 280) benutzen, den Beweis über alle Zweifel zu erheben. Eine Hauptsache besteht darin, ein Verfahren einzuschlagen, bei dem man ziemlich sicher ist, dass die Darstellung des krystallinischen Hämatins gelingt. Die Beimischung von Kochsalz, der Gebrauch von Eisessig und nicht von gewöhnlicher Essigsäure, die Vermeidung jeder tumultuarischen Bewegung bei der Erwärmung oder dem Verdunsten müssen hierbei vorzugsweise empfohlen werden. Man zieht am Besten den Blutfleck nach Erdmann mit Wasser aus, verdunstet die Lösung langsam, bringt dann den Rest auf ein Objectglas, setzt eine Spur von Kochsalz und eine geringe Menge von Eisessigsäure oder sehr concentrirter reiner Essigsäure überhaupt zu, erwärmt das Ganze über einer Gas- oder Weingeistflamme, verhütet dabei eine jede lebhafte Bewegung der Flüssigkeit, verdunstet zum trockenen Rückstande und bringt diesen unmittelbar oder mit Essigsäure befeuchtet unter das Mikroskop. Eine mikroskopische Blutmasse reicht dann in glücklichen Fällen hin, Häminkrystalle zu bilden. Die ähnlichen Krystalle, die Essigsäure aus Indigolösung nach

Fig. 10.

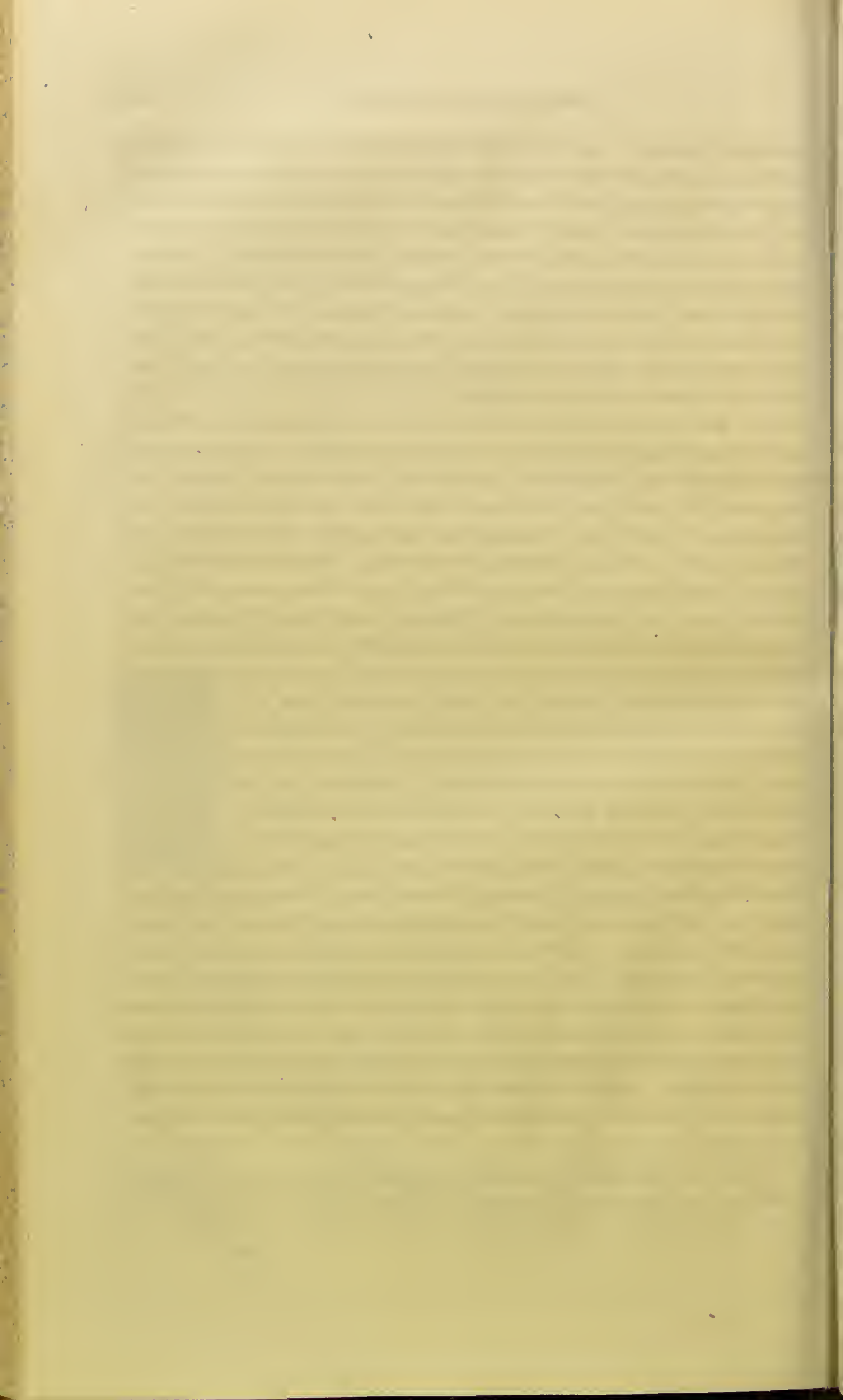


VIRCHOW erzeugt, unterscheiden sich durch ihre bläuliche Farbe. Die Untersuchungen von SIMON und BÜCHNER lehrten auch, dass keine Verwechselung mit den im Ganzen seltenen Krystallbildungen, die man aus rother Dinte, Körnerlack, Drachenblut, Krapp, Santelholz oder Murexid erhält, bei einiger Aufmerksamkeit möglich ist. Man kann auch noch zum Vergleiche die Eigenschaft benutzen, dass sich die Häminkrystalle in Wasser, Salzsäure, Phosphorsäure, Essigsäure, Weingeist, Aether und Chloroform gar nicht lösen, und durch Kalilauge zuerst grün, dann braun, endlich purpur- und zuletzt rosenroth werden.

§. 320. HOPPE-SEYLER hat noch die Aenderungen des Farbestoffes als Erkennungsmittel des Blutes empfohlen. Versetzt man den Blutfleck mit Aetznatron, so wird er nach einigen Minuten olivengrün. Er erscheint wiederum roth nach der Beimischung von Essigsäure. VAN DEEN schlug die sogenannte Ozonreaction des Blutes (§. 305) zu dem gleichen Zwecke vor. Mischt man flüssiges frisches oder faulendes Blut, das Pulver eines eingetrockneten Blutfleckes oder den Wasserauszug desselben mit einem Gemenge von ozonisirtem oder älterem der Luft ausgesetzt gewesenen Terpentinöl und Guajaktinctur, so kann man noch eine nachdrückliche blaue Färbung erhalten, wenn das Blut nur $^1/_{3000}$ bis $^1/_{6000}$ beträgt. Schwefelige Säure hindert diese Wirkung. Die Versuche von LIMAN lehrten, dass man diese beiden Blutproben nur als Unterstützungsmittel für den schon sonst gelieferten Nachweis des Blutes gebrauchen darf, weil die Farbestoffwirkung in vielen Fällen zweifelhaft bleibt und die Ozonreaction auch durch Eisenoxydhydrat, also durch Rostflecke, durch Eisenchlorid, essigsaures, milchsaures und citronensaures Eisenoxyd erzeugt werden kann. Hat man flüssiges Blut, so wird man auch den vielfarbigen Zustand (§. 261) zu Nebenbeweisen benutzen. Er tritt mit grösserem Nachdrucke auf, wenn man Kali und Natron zu dem mittelst Kohlensäure dunkeler gefärbten Blute setzt[1]) oder reichliche Mengen von Schwefelwasserstoff durchleitet. Man kann ihn in den Hämatin- und den Häminlösungen ebenfalls bemerken. Der Nachweis von Eisenoxyd in der in Salzsäure gelösten Asche des Blutfleckes bildet kein zuverlässiges Merkmal, weil es auch von anderen organischen Theilen herrühren kann.

---

[1]) R. P. H. HEIDENHAIN, Disquisitiones criticae et experimentales de sanguinis quantitate in mammalium corpore exstantis. Halis 1857. 4. p. 34.



Besonderer Theil.

Zweiter Abschnitt.

Der Kreislauf des Blutes.



§. 321. Man kann die Gesammtsumme der Hohlräume, in denen sich unser Blut bewegt, als ein in sich zurücklaufendes Röhrensystem betrachten, dessen innerste Schicht im Wesentlichen überall dieselbe bleibt, dessen äusserer Belag hingegen mit den Orten wechselt. Zarte, innig verbundene und nach dem Tode leicht abstreifbare Epithelialzellen liegen einer dünneren oder dichteren Bindegewebsmasse angeschmiegt. Die auf diese Art gebildete Innenhaut des Herzens (Endocardium) und der Gefässe liefert eine glatte und daher die Reibungshindernisse herabsetzende Oberfläche. Legen sich quergestreifte oder ihnen verwandte Muskelfasern nach aussen von der Innenhaut allseitig an, so gewinnt der Bezirk die Fähigkeit, sich eben so rasch zusammenzuziehen als zu erschlaffen. Das Herz bildet nur den ausgezeichnetsten, weil mit dem stärksten Muskelbelage versehenen Theil der Art. Die grösseren Gefässe führen Mischungen von Bindegewebe, elastischem Gewebe und einfachen Muskelfasern nach aussen von der Innenhaut. Das erste verleiht ihnen das Vermögen der Dehnbarkeit, das zweite das der Federkraft und das dritte das der Zusammenziehung, die langsamer eintreten und länger verharren kann. Die Schlagadern besitzen eine vorherrschende Menge von elastischem und die Blutadern eine grössere Masse von Bindegewebe. Die dünnwandigen Haargefässe zeichnen sich weder durch eine irgend bedeutende Grösse der Elasticität noch des Verkürzungsvermögens aus.

§. 322. Die schlingenförmige Umbiegung eines sich zusammenziehenden embryonalen Gefässrohres liefert die Grundlage des späteren Herzens. Man kann diese Bildung in jeder Herzhälfte des Erwachsenen wiederfinden[1]), wenn man sich vorstellt, dass die

---

[1]) Diesen Gedanken hatte schon C. F. Wolff, Act. Acad. Petrop. 1780. P. II. Petropoli 1784. 4. p. 233 und Nova Acta Tom. I. 1783. Petrop. 1787. 4. p. 252.

Blutbahn auf dem Wege von jeder Atrio-Ventricularöffnung zur entsprechenden arteriellen Mündung bogenförmig dahingeht. Man wird von diesem Gesichtspunkte aus annehmen, dass das Blut zwei Mal innerhalb und zwei Mal ausserhalb des Herzens umbiegt. Es kommt dunkelroth in dem rechten Vorhofe an, wendet sich in der rechten Kammer zum ersten Male um und gelangt durch die Lungenschlagader zu den Haargefässen der Lungen, in denen die erste äussere Schlingenbildung mit der Erfrischung durch die eingeathmete Luft zusammenfällt. Es strömt hierauf hellroth durch die Lungenvenen zum linken Vorhofe, kehrt seine Richtung zum dritten Male in der linken Kammer um, dringt dann durch die Körperschlagadern zu den Haargefässen, in denen seine zweite äussere Umbiegung mit dem Uebergange in dunkelrothes Blut zusammentrifft und geht endlich durch die Venen des Herzens und der übrigen Körpertheile zum rechten Vorhofe zurück. Die beiden Herzhälften bilden also zwei mit einander verwachsene Schlingenstücke, die aus der Sonderung eines einzigen, wie die Entwickelungsgeschichte lehrt, hervorgegangen sind.

§. 323. Das rechte oder das Lungenherz führt dunkelrothes und das linke oder das Aortenherz hellrothes Blut. Weist man einen aufnehmenden und einen ausstossenden Herzbezirk einer jeden der beiden Hauptabtheilungen des Gefässsystemes an, so gehören die rechte Kammer und der linke Vorhof dem Athmungs- und die linke Kammer und der rechte Vorhof dem Körperkreislaufe an. Man hat also eine Kreuzung der durch die Mitten der entsprechenden Abschnitte gezogenen Geraden. Da die Lungenblutadern und die Körperschlagadern hellrothes und die Körperblutadern und die Lungenschlagader dunkelrothes Blut führen, so folgt, dass nicht die Beschaffenheit des Blutes, sondern die Richtung der Blutbahn den Bau der Gefässwände bestimmt. Die von dem Herzen abgewendete, die centrifugale oder die fortschreitende Strömung, die man als positiv ansehen kann, weil sie die Entfernung des Blutes von dem als Anfangspunkt betrachteten Herzen vergrössert, fordert elastische und die centripetale, die rückkehrende oder die negative nur dehnbare Röhren. Es entspricht der gegenseitigen Unabhängigkeit der Blutfarbe und der Beschaffenheit der Gefässwände, so wie dem ausschliesslichen Einflusse der Stromesrichtung, wenn die Haargefässwände im Wesentlichen denselben Bau in den Lungen wie in den übrigen Körpertheilen darbieten.

I. Das Herz.

1. Mechanik der Herzschläge.

§. 324. Das Pumpwerk, das wir mit dem Namen des Herzens bezeichnen, enthält Einzelnheiten, deren mechanische Bedeutung wir noch nicht kennen. Wir sind im Stande manche Einrichtungen zu erklären, ohne jedoch sicher zu sein, dass unsere Auffassungsweise allen Beziehungen genügt. Dieses gilt zunächst für zwei Eigenthümlichkeiten, die das Herz des Menschen und der Wirbelthiere[1]) darbietet, für die Umbiegung der Blutbahn in dem Innern der Kammern und die Vertheilung der Zusammenziehung der verschiedenen Herzabschnitte und der Fortbewegung des Blutes auf zwei Zeiträume, den der Verkürzung der Vorhöfe und den der Verengerung der Kammern.

§. 325. Es wäre, wie es scheint, das Einfachste gewesen, die mächtige Muskelmasse des Herzens an einem geraden Rohre anzubringen, um alle durch krummlinige Strömungen erzeugten Bewegungshindernisse (§. 189) zu vermeiden. Der Herzschlag hätte sich auf eine einmalige Zusammenziehung des Ganzen beschränken können. Er hätte dann das Blut mit der Gesammtkraft der zu Gebote stehenden Muskelmassen in das vorliegende Röhrensystem eingepresst. Zeigt uns die Wirklichkeit das Gegentheil, so können wir nach unseren gegenwärtigen Kenntnissen nicht entscheiden, ob hierdurch Vortheile erreicht werden oder nicht. Wir sind aber wenigstens im Stande, einen gewissen Zusammenhang jener beiden Eigenthümlichkeiten anzugeben. Die schlingenförmige Umbiegung der Blutbahn im Herzen bildet eine Folge der ersten Entwickelungszu-

[1]) Die Uebergangsform der Wirbelthiere zu den Wirbellosen, Amphioxus lanceolatus Yarrell oder Bronchiostoma lubricum Costa ist hier, wie in den übrigen Betrachtungen, ausgeschlossen.

stände (§. 322). Die späteren Wachsthumsbedingungen können sie wahrscheinlich nicht mehr zurückbilden. Treibt aber die Zusammenziehung der Vorhöfe das Blut in die erweiterten Kammern, so prallt dieses an den Wänden derselben ab und wird von den elastisch ausgedehnten und daher auch rückwirkenden Wänden gedrückt. Diese beiden Bedingungsglieder ändern sein Geschwindigkeitszeichen. Sie lassen es mit dem zusammenfallen, welches ihm die Kammerverkürzung zu geben sucht. Man sieht, dass auf diese Weise die Druckkraft, welche die frühere Vorhofsthätigkeit erzeugte, mittelbar nachwirkt und sich zu der, welche die Kammerverkürzung erzeugt, hinzufügt. Man kann daher wenigstens behaupten, dass die Trennung der Arbeit keinen wesentlichen Verlust an Wirkung herbeiführt. Ihr Nutzen dagegen dürfte darin bestehen, dass ein Theil der Muskelmassen ausruhen und sich daher für die Erzeugung neuer Leistungen von früherer Grösse erholen kann, während die zweite Muskelmasse thätig ist.

§. 326. Die regelmässige Thätigkeit des Herzens lässt immer die Zeiten der Zusammenziehung oder der Systole und später die der Ausdehnung oder der Diastole für beide Vorhöfe zusammenfallen. Dasselbe wiederholt sich für die zwei Kammern. Diese Norm erhält sich während aller Unregelmässigkeiten des Herzschlages mit nur seltenen Ausnahmen. Das Absterben dagegen ändert sie häufig. Der rechte Vorhof klopft länger als irgend eine andere Abtheilung der Herzmasse [1].

§. 327. Die Systole der Vorhöfe und die der Kammern wechseln fortwährend gegenseitig ab. Ein Herzschlag umfasst die Summe einer Zusammenziehung der ersteren und einer der letzteren. HARVEY [2]) untersuchte einen jungen Mann, in dem ein Theil des mit Fleischwärzchen bedeckten Herzbeutels durch eine eiternde Wunde blossgelegt war. Er sah dabei, dass sich die Spitzenhälfte des Herzens während der Kammerverkürzung vorschob, während der Erschlaffung dagegen zurückzog. Jene fiel mit dem Herzstosse und der Erweiterung, diese dagegen mit der Verengerung der Schlagadern zusammen. Da die Herzschlinge des Embryo zur Brust-

---

[1]) Einen Fall, in dem nur noch das rechte Herz 7 Stunden nach dem Tode eines neugeborenen Kindes schlug, beschreibt LOBSTEIN in BRESCHET, Repertoire général d'Anatomie. Tome I. 1826. 4. p. 146.

[2]) GUIL. HARVAEI Exercitationes de generatione animalium. Amstelodami 1651. 16. p. 313. 314. Vgl. auch Faxil St. Vincent in RUDOLPHI, Grundriss der Physiologie. Bd. II. 2. Berlin 1828. 8. S. 303.

Bauchspalte eine Zeit lang heraushängt, so kann dieser Zustand krankhafter Weise zurückbleiben und daher einen Vorfall oder eine Ektopie des Herzens bedingen, bei der sich eine Lücke der gesammten vorderen Brustwand oder nur des Brustbeines erhalten hat. MARTINEZ[1]) beobachtete schon vor länger als $1^1/_2$ Jahrhunderten an einem Kinde der Art, dass der Kammertheil des Herzens fast rund wurde, während er sich schraubig zusammenzog. Die Erschlaffung machte ihn länger und spitzer. Der ähnliche unserer Zeit angehörende Fall von MONOD und CRUVEILHIER[2]) lieferte das Ergebniss, dass sich die Vorhöfe scheinbar bis zum Bersten während der Diastole dehnten und die Zusammenziehung der Herzohren eben so lange als die Erweiterung der Kammern, die Verkürzung von diesen dagegen ungefähr die doppelte Zeit wie die der Vorhöfe in Anspruch nahm. Das Herz drehte sich dabei um seine Achse von links nach rechts. Ein neugeborenes Kind, das FOLLIN[3]) beobachtete, lieferte eine Ruhepause von ungefähr $^1/_4$ Secunde zwischen der Verengerung der Vorhöfe und der von der Spitze nach der Grundfläche fortschreitenden der Kammern. Der Spitzentheil des Herzens hob sich zugleich und machte eine Drehbewegung. Ein an Herzektopie leidendes Kalb, das HERING[4]) Wochen lang beobachtete, lehrte, dass man nicht berechtigt ist, alle in solchen Fällen auftretenden Bewegungsformen als regelmässige anzusehen. Man hatte hier nicht den gewöhnlichen Wechsel der Zusammenziehungen der Vorhöfe und der Kammern, sondern nur schwache Verkürzungen von jenen und wellenförmige, knetende Bewegungen von diesen. Etwas Aehnliches zeigte sich auch zum Theil in einem von MITCHELL beobachteten Kinde.

§. 328. Liegt das Herz in der Brusthöhle und wird die Brustspalte von der äusseren Haut bedeckt, so lassen sich natürlich die Erscheinungen minder vollständig und deutlich als bei dem Vorfalle desselben verfolgen. Der von den meisten Physiologen und Aerzten der grösseren Städte Europa's und Nordamerika's untersuchte GROUX zeigte auf diese Weise eine klopfende, an dem oberen Dritttheile der Brust hervortretende Geschwulst, die wahrscheinlich von dem

---

[1]) MARTINEZ, Observatio rara de corde in monstroso infantulo. Matriti 1723. In A. HALLERI Disputationum anatomicarum selectarum Vol. II. Gottingae 1747. 4. p. 973—1001, besonders p. 979.

[2]) MONOD und CRUVEILHIER, Gazette médicale de Paris. 1842. p. 497.

[3]) FOLLIN, Ebendas. 1850. p. 629. 630.

[4]) HERING in Vierordt's Arch. für physiol. Heilkunde. Bd. IX. 1850. S. 13—22.

rechten Vorhofe herrührte[1]). Man konnte zugleich bemerken, dass die Herzspitze ungefähr $^1/_{33}$ eines ganzen Pulsschlages später an die Brust schlug, als jene Geschwulst zu klopfen begonnen hatte. Der Puls der Verbindungsstelle der aufsteigenden Aorta und des Bogens derselben fing $^1/_6$ und der der Radialschlagader beinahe $^1/_4$ jener Zeitgrösse nachher an[2]).

§. 329. JUNG zeigte zuerst, dass man eine Nadel in das Herz eines lebenden Säugethieres ohne Nachtheil stechen und eine Zeit lang haften lassen kann, um die Zahl und in glücklichen Fällen sogar die Art der Herzbewegungen zu verfolgen. R. WAGNER hat später die Prüfungs- oder die Explorationsnadel an ein leeres Glas schlagen lassen und die Zahl der Herzschläge auf diese Weise hörbar gemacht. Ich verband sie mit einer Schreibvorrichtung, um die Bewegungen auf dem durch ein Uhrwerk möglichst gleichförmig herumgedrehten Cylinder, auf dem sogenannten Kymographion aufschreiben zu lassen. BRONDGEEST[3]) nahm dieses Verfahren in neuerer Zeit wiederum auf. Das Einstechen einer dickeren, z. B. der Middeldorpf'schen Nadel kann in kleineren Geschöpfen und vorzugsweise in erstarrten Murmelthieren gefährlich werden, so wie das Blut schwerer gerinnt. Da grössere wache Thiere, wenn sie diesen Uebelstand nicht darbieten, den Eingriff ohne Nachtheil ertragen, so lässt sich kaum bezweifeln, dass das Gleiche im lebenden Menschen wiederkehren wird. Die Vorsicht dürfte höchstens gebieten, möglichst dünne Nadeln anzuwenden. Will man sich auf diese Weise von der Fortdauer des Herzschlages in Scheintodten unterrichten, so wird man die Nadel vergleichungsweise möglichst weit links und dann rechts einstechen (§. 326).

§. 330. Man hat häufig die Einzelerscheinungen der Herzschläge an dem blossgelegten Herzen lebender Thiere, in denen man die künstliche Athmung unterhielt, kennen zu lernen gesucht, ohne sich immer von den übrigen eingreifenden Veränderungen Rechenschaft zu geben. Da der luftdichte Verschluss der Brusthöhle aufgehoben ist, so hat auch desshalb das Herz eine andere mit den

---

[1]) Siehe z. B. J. HAMERNIK, Die an Herrn GROUX beobachtete Fissur am Sternum. Hamburg 1854. 8. S. 23. Fissure congénitale du Sternum de M. E. A. GROUX. Paris 1855. 8. p. 1 und p. 16 und ERNST, Virchow's Arch. Bd. IX. 1856. S. 269—285.

[2]) Fissura Sterni congenita. New Observations and Experiments. Second Edition. Hamburg 1859. 4. p. 10. 11.

[3]) BRONDGEEST, Arch. für die holl. Beitr. Bd. III. 1864. S. 430—445.

Nebenbedingungen wechselnde Lage eingenommen. Wurde der Herzbeutel geöffnet, so bewegt sich das Herz nicht mehr innerhalb der alle Lücken sogleich ausfüllenden und schützenden serösen Flüssigkeit. Die heftige Blutung, welche die Eröffnung der Brusthöhle erzeugt und die immer nur unvollkommene Wirkung der künstlichen Athmung schwächen leicht die Herzthätigkeit. Alle diese Nebenbedingungen erklären es, wesshalb man ungleiche Formen der Herzbewegungen in verschiedenen Versuchen bemerkt. Da die Hebung der Herzspitze und die Achsendrehung des Herzens von der Lage desselben wesentlich abhängen, so kann die Verschiedenheit der Verrückung der Brusteingeweide, die der Oeffnung der Brusthöhle unmittelbar folgt, jene Erscheinungen begünstigen oder unmöglich machen. Man darf nicht ohne Weiteres das, was man an den Schildkröten, den Fröschen oder den Fischen beobachtet, auf die Säugethiere und den Menschen übertragen, weil der feinere Bau des Herzens und die Nebenverhältnisse überhaupt in hohem Grade abweichen. Bedenkt man endlich, dass ein Herzschlag eines warmblütigen Geschöpfes $1\frac{1}{2}$ Secunden in dem günstigsten Falle, z. B. in dem Pferde, dauert, so kann oft der unmittelbare Anblick mehr verwirren als belehren, wie HARVEY[1]) schon mit Recht klagte. Lässt man die Herzschläge an dem Kymographion aufschreiben, so werden die Curven viele Einzelheiten, die der unmittelbaren Anschauung entgehen, verrathen. Man darf aber nicht übersehen, dass diese immer nur den Veränderungen einer bestimmten Herzstelle entsprechen, die Bewegungen durch Druck oder andere Hindernisse leicht beeinträchtigt werden und sich die meisten oder alle oben erwähnten Nebenstörungen ebenfalls geltend machen.

§. 331. Die ausgedehnten Untersuchungen, die C. F. WOLFF[2])

---

[1]) GUIL. HARVEJI Exercitationes anatomicae de motu cordis et sanguinis circulatione. Roterdami 1671. 16. p. 22. 23.

[2]) WOLFF hat im Ganzen 16 Abhandlungen über das Herz des Menschen geliefert, eine über das eirunde Loch (De foramine ovali ejusque usu in dirigendo motu sanguinis Observationes novae. Novi Comment. Acad. Petrop. 1775. Petropoli 1776. 4. p. 357—430), eine über die Mündung der grossen Herzvene in den rechten Vorhof (De orificio Venae coronariae magnae. Acta Acad. Petrop. 1777. P. I. Petropoli 1778. 4. p. 234—256) und 10, von denen zwei je zwei und eine drei gesonderte Theile hat und die den gemeinschaftlichen Titel führen: De ordine fibrarum muscularium cordis. Die einzelnen sind: Dissertatio I. De regionibus et partibus quibusdam in corde, tunica exuta, notabilibus. Acta Acad. Petrop. 1780. P. II. Petropoli 1784. 4. p. 197—234. Diss. II. De textu cartilagineo cordis sive de filis cartilagineo-osseis in basi cordis distributis. Acta. 1781. P. I. Petrop. 1784. 4. p. 211—237. Diss. III. De fibris externis ventriculi

über die Herzfaserung anstellte und die GERDY[1]), E. H. WEBER[2]), PURKINJE und PALICKI[3]) und LUDWIG[4]) fortsetzten, konnten nur eine Reihe allgemeiner Gesichtspunkte und eine Anzahl von Einzelnheiten feststellen, deren Verwerthung gewisse Einschränkungen nöthig macht. Es ist nicht möglich, den Verlauf der mikroskopisch dünnen Muskelprimitivfasern des Herzens mit freiem Auge zu verfolgen. Trennt man aber die unmittelbar kenntlichen Bündel, so weiss man nie, ob und welche mikroskopische Faserverbindungen zerrissen und welche feineren Ursprungstheile überhaupt zerstört werden. Man kann diesen Uebelstand für die Vorhöfe kleinerer Säugethiere theilweise vermeiden, wenn man sie mit verdünnter Essig- oder Salzsäure durchsichtiger macht, dann passend aufschneidet, unter Wasser ausbreitet und mit mässig starken Vergrösserungen untersucht. Es ist in der Regel unmöglich, den Verlauf einer Faser von einem Ende zum anderen zu verfolgen. Eine wenn auch noch so wahrscheinliche, doch immer hypothetische Ergänzung sucht daher in dieser Hinsicht nachzuhelfen. Die verschiedenen aus der Herzmuskulatur beschriebenen Schichten sind mehr oder minder Kunsterzeugnisse. Sie entsprechen bisweilen Lagen, deren Fasern bestimmte Zugrichtungen einhalten. Jede von ihnen ist aber durch Faserbündel mit der folgenden vereinigt, so dass schon der natürliche Zusammenhang theilweise zerstört worden, so wie man eine

---

dextri. Ebendas. P. II. p. 221—302. Diss. IV. De fibris externis ventriculi sinistri. Acta 1782. P. II. Petrop. 1786. p. 214—247. Diss. V. De actione fibrarum ventriculi sinistri. Nova Acta. 1783. Petrop. 1787. 4. p. 231—259. Diss. VI. Quae repetitas et novas observationes de fibris ventriculorum externis continet. P. I. Nova Acta. 1784. Petrop. 1788. p. 181—220 und 1785. Petrop. 1788. p. 185—226. P. II. Nova Acta. 1785. Petrop. 1788. 4. p. 185—226. Diss. VII. De stratis fibrarum in universum. Ebendas. p. 227—249. Diss. VIII. De fibris mediis ventriculi dextri. P. I et II. Nova Acta. 1786. Petropoli 1789. 4. p. 221. 265. Diss. IX. De actione fibrarum mediarum ventriculi dextri. Nova Acta. 1787. Petrop. 1789. p. 223—238. Diss. X. De strato secundo fibrarum ventriculi sinistri. P. I. Nova Acta. 1788. Petrop. 1790. p. 217—235. P. II. 1790. Petrop. 1794. p. 347—363.

[1]) GERDY in WEBER-HILDEBRANDT, Handbuch der Anatomie des Menschen. Bd. III. Braunschweig 1831. S. S. 142 und 152.

[2]) F. HILDEBRANDT, Handbuch der Anatomie des Menschen. Vierte Auflage. Besorgt von E. H. WEBER. Bd. III. Braunschweig 1831. 8. S. 139—153, wo auch die älteren Untersuchungen ausführlich zusammengestellt sind.

[3]) B. PALICKI, De musculari cordis structura. Vratislaviae 1839. 8. besonders p. 30—36.

[4]) LUDWIG in Henle und Pfeuffer's Zeitschr. Bd. VII. S. 189 und Bd. IX. S. 107—144. Lehrbuch der Physiologie. Bd. II. S. 58—61.

Schicht, die weder der äusseren noch der inneren Oberfläche des Herzens angehört, blossgelegt hat. Dazu kommt noch, dass die mit freiem Auge sichtbaren Verästelungen und Netzverbindungen keine wahren Vereinigungen, sondern blosse Anlagerungen bilden, die ächten, gerade im Herzmuskel häufigen Fasertheilungen dagegen erst unter dem Mikroskope erkannt werden.

§. 332. Das Herz enthält zwei wechselseitig geschiedene Systeme von Muskelfasern, das der Vorhöfe und das der Kammern. Ein an einzelnen Stellen dichteres Bindegewebe, das in dem Niveau der Quer- oder der Kreisfurche des Herzens liegt, sondert sie wechselseitig. Führt man es in Leim über, indem man das Herz anhaltend kocht und hebt dabei die Gallertumwandlung des zwischen den Muskelfasern vorhandenen Perimysiums den Zusammenhang derselben nicht auf, so fallen die Vorhöfe und die Kammern im Ganzen auseinander. Wir wollen jenes Bindegewebe die Anheftungsmasse nennen, weil sich ein Theil der Muskelfasern unmittelbar und ein anderer durch Vermittelung der Atrio-Ventricularklappen an dasselbe ansetzt. Sie hat einen vorderen und einen hinteren härteren Bezirk, deren Beschaffenheit und Ausdehnung in dem Herzen verschiedener Menschen wechselt. Sie liegen zwischen den beiden Uebergangsöffnungen der Vorhöfe in die Kammern und setzen sich auf die Enden der Längsfurche und die Anfangstheile der Lungenschlagader und der Aorta fort[1]).

§. 333. Man hat drei Arten von Faseranhäufungen an den verschiedenen Stellen der Vorhöfe und der Kammern. Die Ringmuskeln (Sphincteres) gehen um einzelne Oeffnungen, z. B. um die der beiden Hohlvenen, die der Lungenvenen und der Kranzvenen des Herzens herum. Ihre Zusammenziehung verengert oder verschliesst die entsprechenden Mündungen. Der Vieussens'sche Ring (Annulus s. isthmus Vieussenii, Limbus foraminis ovalis), der die Haut des eirunden Loches der Vorhofsscheidewand umgibt und die später zu erwähnenden Faserzüge der Kammern, die sich um die Atrio-Ventricularmündungen theilweise herumwinden, gehören ebenfalls zu dieser ersten Gruppe von Faseranhäufungen.

§. 334. Die zweite umfasst die der gesonderten Muskelstränge[2]) (Funiculi musculares), die als Kammmuskeln (Musculi

---

[1]) C. F. Wolff, Acta Petrop. 1781. Petropoli 1784. 4. p. 211—237.

[2]) Es sind dieses die Bündel (Fasciculi) z. Thl. von Wolff und vorzugsweise von Theile (s. Th. v. Sömmerring, Lehre von den Muskeln und den Gefässen des menschlichen Körpers. Bearbeitet von F. W. Theile. Leipzig 1841. 8. S. 11).

pectinati) in den Vorhöfen und als Fleischbälkchen (Trabeculae carneae) in den Kammern auftreten. Die Herzwände sind in den zwischen ihnen befindlichen Lückenräumen dünner, als wenn dieselbe Muskelmasse auf eine eben so grosse Fläche gleichmässig vertheilt worden wäre. Man muss aber nicht zwei, sondern drei Zustände des Herzens, wie WOLFF[1]) schon richtig andeutete, unterscheiden. Die Elasticitätsform (Status spontaneus von WOLFF) ist diejenige Gestalt, welche der Gesammtresultante der elastischen Eigenschaften oder der Zusammenhangsgrösse der einzelnen Herzgewebe entspricht. Der Druck des Blutes, das in einen diastolischen Herztheil eingetrieben wird, dehnt ihn über die Elasticitätsform aus und vergrössert den Hohlraum. Wir wollen daher dieses die positive Aenderung nennen. Die spätere Systole führt den Herztheil zu einem kleineren Raume diesseits der Elasticitätsform über. Sie erzeugt auf diese Weise eine negative Aenderung. Sind gesonderte Muskelstränge in einem Herztheile vorhanden, so kann die positive Wirkung die Zwischenräume stärker dehnen, als wenn hier eine dickere und gleichförmigere Muskelschicht vorhanden gewesen wäre. Man sieht dieses unmittelbar, wenn man die Gegenden, wo der Sinus und die Herzohren Kammmuskeln enthalten, in dem lebhaft klopfenden Herzen betrachtet. Werden später die Muskelstränge bei der Zusammenziehung kürzer und dicker, so treiben sie die Flüssigkeit aus den Lückenräumen auf dieselbe Weise, aber vielseitiger und daher vollständiger aus, als wenn wir einen nassen Schwamm mit den Fingern zusammendrücken. Eine Schicht dünner Muskelfasern, die in der äusseren Wandbegrenzung des Lückenraumes dahinzugehen pflegt, vervollständigt die durch die elastische Rückwirkung bedingte Pressung.

§. 335. Die Schlingen (Laquei) und die Binden derselben (Fasciae) bilden die dritte, ausgedehnteste und wichtigste Gruppe der Muskelfasern des Herzens. Denken wir uns den allgemeinsten Fall, eine Faser gehe von einem Punkte der Anheftungsmasse (§. 332) aus, umkreise den Umfang einer Herzhöhle in schraubenförmiger Richtung und zu beliebig wiederholten Malen und setze sich später an einem anderen Punkte der Anheftungsmasse fest, so vermag ihre Zusammenziehung zweierlei Wirkungen hervorzubringen. Sie sucht die beiden Ansatzpunkte in einer von ihrem Verlaufe und ihrer Verkürzungsgrösse abhängigen Zugrichtung fortzuführen. Es

---

[1]) WOLFF, Acta. 1780. P. II. Petropoli 1784. p. 226.

kann dabei vorkommen, dass einander die verschiedenen Fasern in dieser Beziehung entgegenwirken und daher ein Theil oder die ganze Ansatzmasse gerade durch die Verkürzung verhältnissmässig befestigt wird. Ein Faserzug ist dann als Antagonist eines anderen thätig. Die Natur scheint in der That auf diese Art die Aufgabe der Selbstbefestigung zu lösen oder die an und für sich relativ freie Ansatzmasse während der Systole der Vorhöfe oder während der der Kammern vor unpassenden Verschiebungen ihrer einzelnen Abtheilungen zu bewahren [1]). Die zweite wichtigere Thätigkeitsart der Schlingen besteht in der Verkleinerung der von ihnen umspannten Hohlräume. Je häufiger die Spiraltouren herumgehen, um so öfter wird sich diese Wirkung für eine Reihe von Querschnitten mit Nachdruck wiederholen. Je kleiner aber dabei der Steigungswinkel der Schraubenlinie ist, um so grösser fällt auch die auf die Längsachse senkrechte Componente der Faserwirkung aus [2]). Die kräftige Verkleinerung der Querschnitte wird auf diese Weise möglich gemacht. Die Wiederkehr der Spiraltouren vergrössert zugleich die Längenverkürzung.

§. 336. Spinnt man die Faserbündel an dem gekochten oder an dem durch die Maceration in Wasser vorbereiteten Herzen ab [3]), so bemerkt man, dass häufig ein Faserzug an der Vorderseite eines Herztheiles hinabgeht und an der Hinterseite emporsteigt, dort oberflächlich und hier in der Tiefe verläuft oder umgekehrt. Dieser Gang kann sich mehrere Male wiederholen, so dass man z. B. eine Achtertour der chirurgischen Verbandlehre bei zweifachem Umgange hat [4]). Die Muskelstränge stossen dabei häufig und zwar am Meisten

---

[1]) Die Krankheitslehre scheint diesen Umstand noch nicht berücksichtigt zu haben. Sind einzelne Bezirke der Herzfasern durch Fettentartung zerstört oder sonst unthätig, so kann hierdurch nicht bloss an Druckkraft unmittelbar verloren gehen, sondern auch die Form und die Thätigkeit des Herzens durch eine unvollkommenere Selbstbefestigung geändert werden.

[2]) Nennt man p die Wirkungsgrösse einer Faser an einem in Betracht gezogenen Punkte und α den Winkel, den die Tangente der Curve ihres Verlaufes mit der Längsachse der Herzhöhle an diesem Orte macht, so hat man $p \cos \alpha$ für die Componente längs der Achsenrichtung und $p \sin \alpha$ für die senkrecht auf dieselbe. Die Quereinschnürung fällt also um so grösser aus, je mehr sich α einem Rechten nähert. Beide Wirkungen sind bei $\alpha = 45^0$ gleich.

[3]) Dieses Verfahren wurde schon von Lower (R. Lower, Tractatus de Corde. Editio quinta. Lugduni Batavorum 1708. 8. p. 24 fgg.) mit vielem Erfolge benutzt.

[4]) Dieser Faserverlauf findet sich schon bei Lower (a. a. O. p. 32. Tab. II. Fig. 7) erwähnt und abgebildet. Siehe auch Ludwig in Henle und Pfeuffer's Zeitschrift. Bd. VII. S. 189 und Winkler in Du Bois und Reichert Arch. 1865. S. 261—272.

gegen die Innenflächen der Vorhöfe und der Kammern spitzwinkelig zusammen. Die ächten Theilungen der Primitivfasern der Muskeln führen zu ähnlichen Formen. Man hat daher oft eine Reihe unter schiefen Winkeln verbundener Kräfte, die auf einen einzelnen Punkt wirken. Der Grundsatz des Parallelogrammes der Kräfte kann dann die Grösse und die Richtung der Endkraft finden lassen [1]).

§. 337. Die Muskelstränge, welche die Fleischbälkchen (Trabeculae carneae) der Kammern bilden, bestehen nur aus Faseranhäufungen, die aus der Masse der Kammerwand hervortreten und in eine benachbarte Stelle derselben nach einigem Verlaufe wiederum eindringen. Die Warzenmuskeln (Musculi papillares) dagegen entsprechen einer eigenthümlichen Endigungsweise von Muskelfasern, die wahrscheinlich früheren Schlingen und Binden angehören. Sie treten gruppenweise zur Kammerwand heraus und setzen sich an Sehnen, die sich zu den Atrio-Ventricularklappen, also zu Theilen begeben, die selbst wieder mit der Anheftungsmasse (§. 332) verbunden sind. Diese kann daher kleiner ausfallen, als wenn sich alle Schlingen an sie unmittelbar geheftet hätten. Die Warzenmuskeln ordnen zugleich die Stellungen der Segelventile, die wir die venösen Klappen nennen, wie wir später sehen werden.

§. 338. Eine den Scheidewänden des Herzens zukommende Hauptrolle ist bis jetzt nicht scharf genug betont worden. Man betrachtet gewöhnlich jeden Vorhof und jede Kammer als einen gesonderten Sack. Die zwei entsprechenden Behälter seien in der Scheidewand verwachsen. Diese enthalte aber noch Fasern unbestimmbaren Verlaufes ausser denen, die nur einer Herzhälfte angehören. Indem CRUVEILHIER noch die oberflächlichen Verbindungsfasern der beiden Herzhälften berücksichtigte, gelangte er zu dem

---

[1]) Man wird das Gesammtergebniss aller Wirkungen der Art bestimmen, wenn man zuerst die Leistungen zweier Kräfte zu einer Mittelwirkung zusammensetzt, diese mit einer dritten Kraft verbindet und so fortfährt, bis man zur letzten Kraft gelangt. Zwei Formeln, die aus den trigonometrischen Beziehungen des Dreiecks der zwei Kräfte und der Mittelkraft hervorgehen, enthalten alles Nöthige. Nennen wir p und q die Grössen der beiden Kräfte und r die der Mittelkraft und bezeichnen den Winkel, den die beiden ersten einschliessen, mit $\widehat{pq}$ und die, welche jede Kraft mit der Mittelkraft bildet, mit $\widehat{pr}$ und $\widehat{qr}$, so hat man für die Grösse der Resultante:

$$r^2 = p^2 + q^2 + 2pq \cos \widehat{pq} \quad (77)$$

und für die Richtung die Verhältnissbeziehungen:

$$p:q:r = \sin \widehat{qr} : \sin \widehat{pr} : \sin \widehat{pq} \quad (78)$$

Ausspruche, dass die Kammern aus zwei Muskelsäcken bestehen, die von einem dritten umschlossen werden. Die §. 336 und 337 erläuterte Schlingenbildung muss schon diese Auffassungsweise zweifelhaft machen. Man kann überdies mit vieler Wahrscheinlichkeit annehmen, dass zahlreiche Fasern der Scheidewände nur Schlingen angehören, die beiden Vorhöfen oder beiden Kammern gemeinschaftlich sind, dass auf diese Art die Zwischenwände ein Hauptmittel bilden, die seitlich neben einander liegenden Säcke commissurenartig zu vereinigen und nicht bloss die Hohlräume zu trennen.

§. 339. Fassen wir Alles zusammen, so können wir sagen, dass vorzugsweise drei Grundsätze bei der Anordnung der Herzmuskulatur angewendet worden. Eine und dieselbe Fasermasse tritt als Schlinge, als Muskelstrang und als Schliessmuskel an den verschiedenen Stellen ihres Verlaufes, je nach der Mannigfaltigkeit der Bedürfnisse auf. Die Schlingenform eignet sich am Besten, den Inhalt des Hohlraumes auszupressen. Die Anhäufung der Muskelstränge gestattet eine grössere Dehnung der Wand und daher eine reichlichere Aufnahme von Flüssigkeit und eine kräftigere elastische Rückwirkung. Die Schliessmuskeln endlich können jede Ventilation, also alle Arten von Klappen an den Eintrittsstellen der Hohladern und der Lungenvenen überflüssig machen. Der zweite Grundsatz besteht darin, dass das rechte und das linke Herz nicht bloss zwei an einander geheftete Säcke bilden, sondern auch eine gewisse Summe von Faserzügen an der Oberfläche und im Innern der Scheidewände gemeinschaftlich haben. Das Zusammenfallen ihrer Wirkungen, das für die Vollkommenheit der Blutbewegung unerlässlich ist, scheint in diesem Umstande theilweise begründet zu sein. Läuft die Verkürzung in der ganzen Länge aller gemeinschaftlichen Fasern ab, so müssen sich auch die entsprechende rechte und linke Abtheilung des Herzens zusammenziehen. Das Herz löst endlich noch drittens die Aufgabe, dass die festen Punkte der thätigen Muskelfasern durch diese selbst in jedem Augenblicke hergestellt werden (§. 335). Es kann daher frei schweben und in einem Abschnitte erschlafft sein, ohne dass desshalb die Druckwirkung des anderen Schaden leidet. Diese drei Grundsätze und die später noch zu erläuternde Kleinheit der Reibungshindernisse machen auch das Herz zu dem vollkommensten Pumpwerke, das die Mechanik kennt.

§. 340. Die gegenseitige Trennung der Muskelmassen der Vorhöfe und der Kammern erklärt es, wesshalb sich immer nur jene oder nur diese verengern. Die gleichzeitige Zusammenziehung und

Erschlaffung beider Vorkammern und beider Kammern dagegen fusst auf verwickelteren Verhältnissen. Die Verkürzung einer jeden Muskelfaser läuft von einem gegebenen Punkte aus allmälig ab[1]. Eine grössere Schnelligkeit der Bewegung zeichnet im Allgemeinen die quergestreiften vor den einfachen Muskelfasern aus. Dieses erklärt es, wesshalb sich der quergestreifte Herzmuskel der warmblütigen Geschöpfe rascher als der der kaltblütigen verengt. Der der letzteren enthält nämlich viele Muskelfasern, die den einfacheren näher stehen. Man kann aber dessenungeachtet nicht behaupten, dass alle Stellen der Vorhöfe und der Kammern des Menschen, der Säugethiere und der Vögel ihre Verkürzungen gleichzeitig beginnen. Zeitunterschiede, die nur ihrer Kleinheit wegen der Beobachtung entgehen, sind wahrscheinlich immer vorhanden. Man darf daher die Herzbewegung eine wurmförmige oder peristaltische in diesem Sinne nennen[2]. Ergibt die Beobachtung, dass die Veränderung von bestimmten Orten ausgeht und längs eines Herztheiles abläuft, oder hat man blosse Wellenbewegungen der Kammern (§. 327), so rührt dieses eben von einer regelwidrig verkleinerten Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Verkürzung her. Das allmälige Fortschreiten der Länge nach kommt in dem blossgelegten und daher geschwächten Herzen so häufig vor, dass HALLER[3] als Regel annahm, ein Wellenzug gehe von dem Dache eines jeden Vorhofes aus und ein anderer entgegengesetzter eile ihm von der Querfurche entgegen. Man sähe eben so die Verkürzung einerseits von der Spitze nach der Grundfläche der Kammern und anderseits von dieser nach jener gleichzeitig fortschreiten[4]. Sinkt endlich die Empfänglichkeit noch mehr, so zeigt sich oft ein örtlich beschränktes Wellenzittern in der Längsrichtung der oberflächlichen Fasern. So häufig diese Erscheinungen beobachtet werden, so selten kommen grössere zeitliche Ungleichheiten in der Querrichtung vor. Man bemerkt fast nie bei kräftigem Herzschlage, dass ein rechter Herztheil auffallend früher als ein linker schlägt. Ungleiche Verkürzungsgrade dagegen können bei den mannigfachsten Störungen auftreten. Das Absterben des

---

[1]) Siehe Versuch einer physiol. Pathologie der Nerven. Erste Abtheilung. S. 45.

[2]) HARVEY (Exercitationes de motu sanguinis p. 51) und WOLFF (Nova Acta. 1783. Petropoli 1787. p. 252) ahnten schon dieses Verhältniss.

[3]) A. HALLER, De partium corporis humani praecipuarum fabrica et functionibus. (Zweite mit literarischen Zusätzen versehene Ausgabe der ersten Hälfte der Elementa physiologiae.) Tom. II. Bernae et Lausannae 1778. 8. p. 256.

[4]) HALLER, Ebendas. p. 246.

linken Herzens vor dem rechten (§. 326) wird bei den verschiedensten Todesarten wahrgenommen.

§. 341. Verfolgt man die Herzfaserung mit freiem Auge, so scheinen nur verhältnissmässig wenige Fasern der Seitenwände des rechten Herzens auf die des linken brückenartig hinüberzugehen. Die Vorhöfe besitzen in dieser Hinsicht die vordere Querbinde[1]) (Fascia coronalis anterior), die sich zum grösseren Theile zwischen den Ansatzstellen der beiden Herzohren hinzieht, und die schwächere hintere[2]) (F. c. posterior). Die Kammern haben die vorderen Verbindungsfasern[3]) (Fibrae reunientes) in der vorderen, die hinteren[4]), stark ausgebildeten oder auch fast gänzlich fehlenden in der hinteren Längsfurche, die ebenfalls wechselnden Bogenfasern[5]) (Fibrae arcuatae) in der Nähe des Einschnittes (Vallecula), der die beiden Herzspitzen trennt und nur einzelne nicht genau verfolgbare Bündel in den tieferen Schichten. Die genauere Untersuchung der Scheidewände des Herzens macht es wahrscheinlich, dass sie die Wege bilden, durch die nicht wenige Fasern von der rechten zur linken Herzhälfte treten. Bündel, die an der vorderen Längsfurche zackig in einander greifen und viele der übrigen Schichten dringen so in die Scheidewand ein, dass sie nicht in dem Bezirke der Kammer, von der sie ausgegangen sind, bleiben. Untersucht man feine, zwischen zwei Gläsern vorsichtig zusammengedrückte Querschnitte der Scheidewand, z. B. des Kaninchens, unter schwachen Vergrösserungen, so sieht man oft Fasern und Faserbündel, die nicht concentrisch den Hohlraum einer Kammer umringen, sondern von einer Höhle zur anderen strahlig verlaufen. Die Vorhofsscheidewand bildet ebenfalls die Bahn zur gegenseitigen Mittheilung von Fasern beider Vorkammern.

§. 342. Die Bildung des Vieussens'schen Ringes zeigt unmittelbar, dass die Faservertheilung der Vorhofsscheidewand für beide Atrien ungleich ausfällt. Man findet bei dem Abspinnen der Fasern des gekochten Herzens, dass sich nur ein kleiner Theil der Muskelfasern der rechten Kammer in die Scheidewand unmittelbar

---

[1]) Wolff, Nova Acta. 1783. Petropoli 1787. Tab. II. 55.

[2]) Wolff, Ebendas. Tab. III. 82.

[3]) Ebendas. Tab. I. 17. 45. 46. 99.

[4]) Wolff hat hier vorzugsweise Längsfasern, doch auch Querverbindungen angedeutet. Ebendas. 72. 77. Nova Acta. 1785. Petropoli 1788. Tab. VI. 45. Ausführlicher erkannt von E. H. Weber a. a. O. S. 145.

[5]) Wolff, Nova Acta. 1785. Tab. VI. 4. 98.

verfolgen lässt. Eine weit grössere Menge dagegen gehört der linken Kammer an. Jene erscheinen daher auch auf Querschnitten als ein weit schmaleres Band als diese.

§. 343. Die beiden Scheidewände des Herzens haben nicht bloss die doppelte, oben erwähnte Beziehung. Sie bilden ausserdem noch gewissermaassen eine feste innere Stütze, welche die Grösse der Zusammenziehung und die Form des verkürzten Theiles wesentlich bestimmen hilft. Es hängt von der Längenabnahme der verdickten Scheidewand ab, um wie viel sich ihre seitlichen Nachbarbezirke der Querfurche des Herzens während der Systole nähern können. Sie entscheidet daher auch zu einem grossen Theile, ob die zusammengezogene Kammer einem geraden oder einem schiefen Kegel ähnlich wird oder eine mehr rundliche Gestalt annimmt.

§. 344. Die Widerstände, welche die von einem Herztheile fortgestossene Flüssigkeit antrifft, bestimmen die Stärke der Muskelmasse desselben unter gesunden und unter krankhaften Verhältnissen. Die Vorhöfe können eine schwächere Muskulatur als die der Kammern besitzen, weil sie das Blut in eine entleerte Höhle, diese dagegen in Röhren treiben, deren flüssiger Inhalt einen bedeutenden Widerstand der Verschiebung entgegensetzt. Da der kleine Kreislauf geringere Hindernisse als der grosse darbietet, so wiegt auch die Gesammtsumme der Seitenwände der rechten Kammer nur die Hälfte von der der linken. Die Vorhöfe geben im Allgemeinen ein Verhältniss wie $1 : 1^1/_2$. Der linke erscheint also in Vergleich zum rechten weniger stark, als die linke Kammer gegenüber der rechten. Wir werden hieraus schliessen, dass der relative Unterschied der Widerstände bei dem Uebergange des Blutes aus den Vorhöfen in die Kammern geringer, als der für den Uebertritt aus diesen in die grossen Arterienstämme ist. Die Flüssigkeit muss dort nur den elastischen Widerstand und den Gegendruck der an einander gelegten Kammerwände, hier dagegen den der Blutsäulen aller vorliegenden Gefässe überwinden.

§. 345. Die dickere Muskelmasse der linken Kammer verräth auch eine grössere Mannigfaltigkeit der Faserzüge. WOLFF [1]) schrieb drei Schichten dem rechten und sechs dem linken Ventrikel zu. Beide führen oberflächliche, verschieden steile, links gewundene [2])

[1]) WOLFF, Nova Acta. 1785. Petropoli 1788. p. 234—238. Vgl. auch E. H. WEBER a. a. O. S. 149.

[2]) Diese Bestimmung der Windungsrichtung entspricht der der Mechaniker, wie sie auch E. H. WEBER und PALICKI, nicht aber WOLFF befolgen. Der Beobachter hält

Binden und innerste netzförmige und vorherrschend der Länge nach verlaufende Anhäufungen von Muskelfasern. Zahlreiche schiefe oder quere, meist rechts gewundene Züge schalten sich zwischen der äussersten und der innersten Lage in der rechten Kammer ein. Die linke hat hier links und rechts gewundene, theils schiefe und zum Theil der Länge nach dahingehende Binden und Bündel. Sie besitzt auch grössere Warzenmuskeln, die von denen der rechten Kammer dadurch abweichen, dass sie nie von der Scheidewand der Kammern ausgehen. Da jeder dieser Faserzüge seine der Achse parallele und seine auf ihr senkrechte Componente hat (§. 336), so muss die Zusammenziehungsform der Kammer davon abhängen, mit welcher Stärke der Verkürzung sich jede Schlinge der verschiedenen Binden und jedes Bündel betheiligt. Der Wechsel der systolischen Gestalten, den man in absterbenden Herzen sieht, hat wahrscheinlich seinen Hauptgrund in diesen ungleichen Wirkungsgraden der verschieden gerichteten Muskelgruppen.

§. 346. Die Verkürzungsgrösse der Herzfasern kann ihre Nachwirkung auf die Elasticitätsform (§. 334) und die spätere Erweiterung der Kammer ausüben. Die Zusammenziehung setzt im Allgemeinen den Elasticitätsmodul der Muskelmasse um so mehr herab, je kräftiger sie ausgefallen ist. Eine nachdrücklichere Verkürzung der Herzmuskulatur bedingt daher eine andere Elasticitätsform und eine grössere Dehnung, mithin auch eine stärkere nachträgliche Füllung des Herzens und eine verhältnissmässig geringere elastische Rückwirkung. Das Herz kann daher durch eine Reihe starker Schläge an Druckkraft verlieren und an Aufnahmefähigkeit gewinnen. Die Bedingungen einer Herzerweiterung oder eines Herzaneurysma's sind auf diese Art gegeben.

§. 347. Harvey, der grösste Forscher des siebzehnten und Haller der des achtzehnten Jahrhunderts auf diesem Gebiete, legten gewissermaassen den Grund zu den Ansichten, die man später über die Reihenfolge und die Art der Bewegungen der einzelnen Herz-

---

sich den Gegenstand, z. B. ein Schraubengewinde, gerade und senkrecht gegenüber, ganz gleichgültig ob die Spitze nach oben oder nach unten gewendet ist, verfolgt die aufsteigende Windungsrichtung und urtheilt nach dem Rechts oder Links seines eigenen Körpers. Betrachtet man auf diese Weise die Kammern, von deren Oberfläche die Organlamelle des Herzbeutels entfernt worden, vorn oder hinten, mit der Spitze nach oben oder nach unten, so findet sich immer, dass oberflächliche links gewundene Faserzüge von der Längsfurche nach dem Seitenrande oder umgekehrt emporsteigen.

theile aufgestellt hat[1]. HARVEY[2]) betonte nicht bloss, dass die Zusammenziehung der Kammern erst nach der der Vorhöfe auftritt, sondern deutete auch an einer Stelle[3]) an, dass sich ein Zeitraum der Kammererweiterung zwischen beiden einschaltet. HALLER[4]) hob das selbstständige Klopfen der Hohlvenen hervor, beschrieb die Zusammenziehung der Lungenvenen, die sich bis in die Lungen hinein verengern sollten, und liess die Verkürzung mit der der Vorhöfe abwechseln, mit der der Kammern dagegen der Zeit nach zusammenfallen. JOH. MÜLLER[5]) dagegen behauptete, dass sie sich gleichzeitig mit den Vorhöfen verschmälern. Viele der übrigen einander widersprechenden Angaben entstanden dadurch, dass man die Verhältnisse der kaltblütigen Geschöpfe denen der warmblütigen ohne Weiteres gleichstellte (§. 330), in diesen nicht selten die Thätigkeit des absterbenden Herzens für die des lebenskräftigen ansah und sich häufig von phantastischen Eindrücken leiten liess, wenn man die Einzelerscheinungen während der kurzen Dauer eines Herzschlages verfolgen wollte. Die graphische, in neuester Zeit angewandte Darstellung verminderte diesen letzteren Uebelstand nur theilweise, da man aus solchen Curven mehr zu schliessen suchte, als sie in der That gestatten.

§. 348. Das in die erschlafften Vorhöfe dringende Blut dehnt diese nach und nach in hohem Grade aus. Die Wände entfalten und runden sich allmälig und die dünneren zwischen den Kammmuskeln befindlichen Theile derselben treten gewölbt hervor. Erreicht die Füllung ihre grösste Stärke in den Herzohren, so entfernen sich die freien Theile derselben von der benachbarten Sinuswand und richten sich daher zum Theil auf. Sie sind zuletzt bei lebhaftem Kreislaufe wie zum Bersten gefüllt. Die Zusammenziehung bricht hierauf plötzlich ein. Man bemerkt sie bisweilen einen Augenblick früher an den Herzohren als an den Sinus. Jene wer-

---

[1]) Eine ausführliche kritische und auf eigenem Quellenstudium beruhende Darstellung des Geschichtlichen der Lehre von der Zusammenziehung des Herzens, der Mechanik der Klappen desselben, dem Herzstosse und den Herztönen gibt A. SPRING in s. Mémoire sur le mouvement du coeur, spécialement sur le mécanisme des valvules auriculo-ventriculaires. Mém. de l'Académie de Belgique. Tome XXIII. Bruxelles 1861. 4. p. 1—137.

[2]) HARVEY a. a. O. p. 38.

[3]) HARVEY p. 48.

[4]) HALLER a. a. O. 266 fgg.

[5]) JOH. MÜLLER, Handbuch der Physiologie des Menschen. Vierte Auflage. Coblenz 1841. 8. S. 142.

den kürzer und enger. Die Wände von diesen drängen sich allseitig gegen die Querfurche und die Vorhofsscheidewand. Die kraftvolle Bewegung ist in der Regel zu schnell, als dass man gesonderte entgegengesetzte Wellenzüge (§. 340) wahrnehmen könnte. Die Angabe, dass sie an den Einmündungsstellen der Blutadern beginnt, hat keine allgemeine Gültigkeit. Da die Herzohren bei ihrer Verkürzung blasser werden, die Sinus dagegen häufig, wenigstens in absterbenden Thieren, Blut durchschimmern lassen, so folgt, dass sich dann jene vollkommener als diese entleeren.

§. 349. Besitzt die Herzthätigkeit ihre grösste Lebhaftigkeit, so folgt die Zusammenziehung der Kammern der der Vorhöfe so rasch nach, dass man keine Zwischenzeit der Ruhe bemerkt. Man erkennt nur bisweilen eine kleine Pause in dem absterbenden Herzen. Es kommt vor, dass die Vorhofsverkürzung noch fortdauert, wenn schon die Kammerzusammenziehung angefangen hat[1]). Eine merkliche Zeit, die grosse Pause, schaltet sich dagegen zwischen dem Ende der Kammer- und dem Anfange der nächsten Vorhofsverkürzung ein. Alle vier Herzhöhlen sind dann von Blut ausgedehnt.

§. 350. Die cardiographischen Curven, die Marey und Chauveau[2]) an dem Herzen des lebenden Pferdes erhalten haben, bestätigen diese Sätze. Jene Forscher schoben die eine Kugelanschwellung ihrer Schreibvorrichtung von der Drosselblutader aus in die rechte Kammer, eine zweite in den rechten Vorhof und eine dritte von der Halsschlagader in die linke Kammer. Wird die von dünnen Metallblättern umgebene hohle Kautschuckkugel von dem Herztheile, dem sie angehört, zusammengedrückt, so tritt aus ihr eine entsprechende Luftmenge in den hohlen Stiel, der anderseits eine zweite jetzt anschwellende ähnliche Hohlkugel trägt. Diese bewegt aber einen Hebel, der die Veränderung an dem sich drehenden Cylinder des Kymographion (§. 329) aufzeichnet. Man muss die Einzelschlüsse, die man aus den hierbei erhaltenen Curven zieht, in hohem Grade beschränken, weil die Anwesenheit der Stäbe in den Kammern die Thätigkeit der venösen Klappen grossentheils aufhebt, und daher eine gewisse Menge Blutes während der Kammerzusammenziehung in die Vorhöfe zurücktritt, der in einem Herz-

---

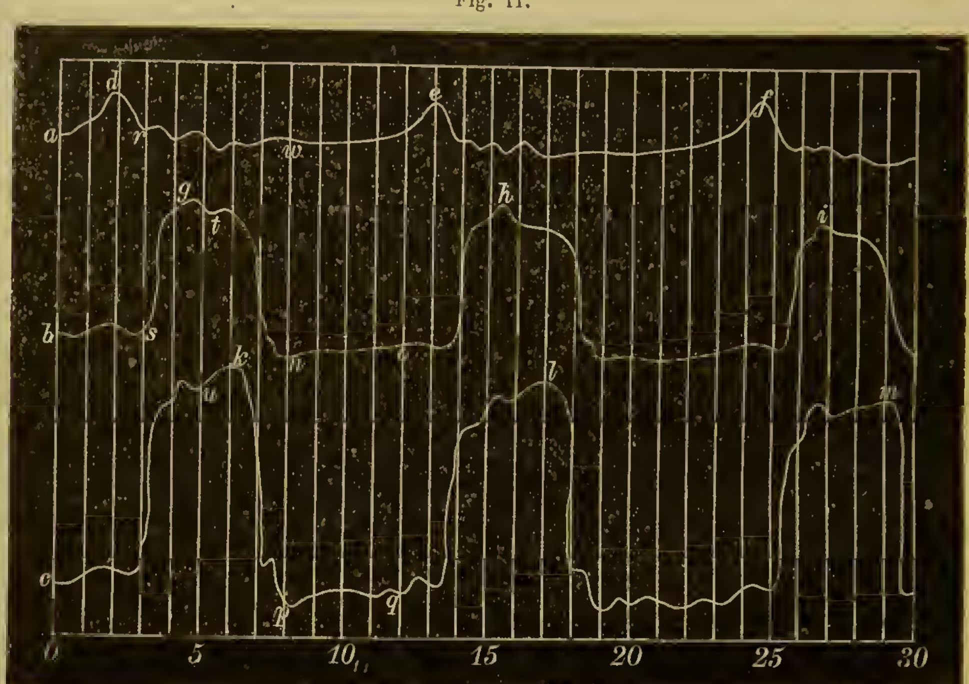
[1]) Vgl. Schiff, Arch. für physiol. Heilk. Bd. IX. 1849. S. 222. 223.

[2]) Eine ausführliche, von Abbildungen begleitete Beschreibung seines Cardiographen gibt E. F. Marey in s. Physiologie médicale de la circulation du sang. Paris 1863. 8. p. 47—66. Vgl. auch Journ. d'Anat. et de Physiol. Tom. II. 1865. p. 276—301 und p. 416—425.

theile befindliche Fremdkörper die übrigen Wirkungen ebenfalls stört, die auf ihn ausgeübten Drucke mit den Oertlichkeiten wechseln können und die Fortpflanzung von der unteren Kugel auf den Schreibhebel eine gewisse Zeit fordert und oft genug unvollkommen ausfällt. Die Curven selbst tragen überdies häufig das Gepräge der Eigenschwingungen, deren störender Einfluss uns bei den Schlagadern ausführlicher beschäftigen wird.

§. 351. Marey und Chauveau[1]) erhielten in glücklichen Fällen Zeichnungen, wie sie Fig. 11 für drei Herzschläge des Pferdes

Fig. 11.



darstellt. Die oberste Linie a entspricht der Thätigkeit des rechten Vorhofes, die mittlere b der der rechten und die unterste c der der linken Kammer. d, e, f sind die höchsten durch die Zusammenziehung der Vorhöfe erzeugten Hebungen. g, h und i bezeichnet dasselbe für die rechte und k, l, m für die linke Kammer. Die Abscissenstücke 0, 5, 10 u. s. w. entsprechen den Zeiten und zwar so, dass jeder Grad nahezu $^1/_{10}$ Secunde anzeigt. Ein ganzer Herzschlag umfasst hiernach ungefähr $1^1/_5$ Secunde, so dass 50 auf die Minute kommen. Die auf der Zeitabscisse senkrechten Ordinaten messen die Erhebungen und Senkungen.

Man sieht, dass hier keine irgend bedeutende Zwischenzeit

[1]) Marey a. a. O. p. 88.

zwischen dem Ende der Vorhofszusammenziehung r und dem Anfange der Kammerverkürzung s angegeben ist. Die Linien versinnlichen zugleich den Wechsel der Verengerung der Vorkammer adr und der Kammer sgn und die Gleichzeitigkeit der Verkürzung beider Kammern g und k. Sie können ungefähr andeuten, dass die Zusammenziehung der linken Kammer k kräftiger als die der rechten g ist, weil k höher über der wagerecht gedachten Abscisse emporgeht als g. Man wäre aber nicht zu dem Schlusse berechtigt, dass die grösste Zusammenziehung der rechten Kammer früher als die der linken eintritt, weil g der durch den Anfangspunkt b geführten Ordinate näher liegt als k. Dieses kann von der zufälligen Lage der Kugeln in den Kammern abhängen und mangelt daher auch in anderen Curven von Marey und Chauveau. Eben so ist der zwischen zwei Zusammenziehungen der Vorhöfe oder je zweien der Kammern liegende Zeitunterschied oder die Ruhepause no zu lang gezeichnet, weil sich die Wände bis zu einem gewissen Grade verkürzen müssen, ehe sie oder das Blut die Kugel merklich verkleinern und eine zweite Zeit vergeht, bis sich die Wirkung dieser Zusammendrückung zu dem Schreibhebel fortgepflanzt hat. Die Auf- und die Niedergänge endlich, die während der Kammerverengerung bei t und u aufgezeichnet sind, können von unregelmässigen Drucken oder von Eigenschwankungen des Schreibhebels herrühren. Die letzteren allein erzeugten die Hebungen und Senkungen der Curven nach dem Ende der Vorhofsverkürzung, also zwischen r und w.

§. 352. Die in der Regel plötzlich erschlaffenden Kammern nehmen zunächst ihre von der vorangegangenen Verkürzung abhängige Elasticitätsform (§. 334) an und verharren in ihr, bis die Zusammenziehung der Vorhöfe Blut in ihre Hohlräume treibt. Wechselt auf diese Art die Elasticitätsgestalt mit dem Elasticitätsmodul der Muskelfasern (§. 346), so können noch andere später zu erwähnende Nebenbedingungen die Form der Kammern ändern, wenn das Blut einströmt und die nach der vollständigen Entleerung sich gegenseitig berührenden Wände für die Höhlenbildung aus einander drängt. Folgt dann die Zusammenziehung, so lehrt die genauere Untersuchung, dass zwei verschiedene Gestalten auf einander folgen. Die A n f a n g s z u s a m m e n z i e h u n g (Praesystole von Spring[1]) nähert die Kammerspitze der Grundfläche, macht die

[1] Spring a. a. O. p. 47.

ganze Masse runder und den Querschnitt grösser. Die Endverkürzung dagegen lässt sie länger, schmaler und kegelförmiger erscheinen. Legt man einen Faden um die obere Hälfte der Kammern, so wird er während der Anfangszusammenziehung stärker gespannt und erschlafft während der merklich länger dauernden Endverkürzung.

§. 353. Manche Forscher [1]) halten die Anfangszusammenziehung für eine von den gemeinschaftlichen Spiralfasern abhängige Erweiterung. Die Bemerkungen, die über die Herzfaserung §. 341 fgg. gemacht worden, eignen sich, eine hypothetische Erklärung aller Erscheinungen zu liefern. Wir werden sehen, dass sich ein Herztheil zusammenzieht, wenn bewegtes Blut die in der Nähe seiner Innenhaut verlaufenden mikroskopischen Nerven mechanisch oder chemisch reizt. Es liegt daher die Annahme nahe, dass sich auch desshalb die innerste Schicht der Muskelfasern zuerst verkürzt und die Bewegung von hier aus längs der Schlingenfasern allmälig fortschreitet, in den mittleren und den äusseren Lagen dagegen später als in den inneren auftritt. Da die Faserbündel von diesen (abgesehen von den Fleischbälkchen) vorzugsweise der Länge nach verlaufen, so nähern sie die Spitze der Grundfläche. Die noch nicht zusammengezogenen mittleren und äusseren Schichten geben nach, so dass sich die Seitenwände der Kammern wölben. Eine Vergrösserung des Rauminhaltes in diesem Augenblicke ist weder bewiesen, noch, wie wir bei den Atrioventricularklappen sehen werden, wahrscheinlich. Schreitet die Verkürzung zu den Spiraltouren der mittleren und den äusseren Lagen fort, so hat jede von diesen eine Längscomponente, welche die Länge der Kammerachse und eine Quercomponente, die den Querschnitt zu verkleinern sucht (§. 336). Jene herrscht unter sonst gleichen Verhältnissen vor, wenn der Winkel, den die Tangente der Spiralkrümmung in dem gegebenen Punkte mit der Längsachse der Kammer macht, kleiner und diese, wenn er grösser als 45° ist (§. 336). Man hat zwar den ersteren Fall z. B. in vielen oberflächlichen und mittleren Faserzügen der Hinterseite der linken Kammer des menschlichen Herzens [2]). Die Mehrzahl der übrigen Schlingen dagegen schneidet die Längsachse jeder Kammer unter einem Winkel, der mehr als 45 Grad [3]) beträgt.

---

[1]) Spring a. a. O. p. 81—83.

[2]) Siehe z. B. Wolff 1783. Petropoli 1786. Tab. III. und 1785. Petropoli 1788. Tab. VI.

[3]) Wolff 1783. Tab. I. II.

Ziehen sich diese Schichten in dem zweiten Zeitraume der Systole zusammen, so wird im Ganzen eine grössere Querschnitts-, als Längenverkleinerung zum Vorschein kommen. Das auf diese Art seitlich stärker gedrückte Blut pflanzt die Pressung fort. Findet diese einen grösseren Widerstand an den Blutsäulen der Schlagadern, als an der Herzspitze, so wird das Herz enger, länger und kegelförmiger. Diese Auffassung erklärt auch, wesshalb SPRING[1]) die eben erwähnte Formänderung in einer Gans deutlicher machen konnte, wenn er die Aorta theilweise zusammendrückte und deren Widerstand auf diese Weise erhöhte. Er kann auch einen wesentlichen Einfluss unter krankhaften Verhältnissen ausüben.

§. 354. Das Venenblut langt in der Regel mit einer gewissen, wenn auch geringen Druckgrösse an, die es in die erschlafften Vorhöfe treibt. Ziehen sich die kreisförmigen quergestreiften Muskelfasern, welche die Endstücke der Hohl- und der Lungenvenen umgeben, während der Vorhofserweiterung zusammen, so wird ihr Druck eine ihrem Einflusse entsprechende Blutmenge verdrängen und einen Theil derselben in die Vorkammer schieben. Führt man aber ein Rohr von einer Drosselblutader aus in die obere Hohlvene oder in den rechten Vorhof ein und lässt das andere umgebogene Ende desselben in eine Flüssigkeit tauchen, so sieht man, dass diese von Zeit zu Zeit emporgeht und wiederum sinkt. Der Druck in dem Blutraume ist also kleiner als der der äusseren Atmosphäre. Da man diesen zum Nullpunkte wählt, so nennt man jenen einen negativen Druck[2]). Das Herz wirkt auf diese Weise nicht bloss als Druck-, sondern auch als Saugpumpe. Man spricht daher von einer Saugkraft oder einer Aspiration desselben.

§. 355. Die nähere Untersuchung lehrt, dass man zwei Arten dieser Wirkung unterscheiden muss. Die eine, das Athmungssaugen oder die Athmungsaspiration rührt von der Raumerweiterung der Einathmung her. Sie zieht nicht bloss Luft, sondern auch Flüssigkeiten aller Art, mithin unter Anderem Venenblut, nach der Brusthöhle. Die nähere Betrachtung des Einflusses der Athembewegungen auf den Druck des Schlagaderblutes wird uns zeigen, wie sich die Wirkungen auf die einzelnen Zeiten der Athembewegungen vertheilen. Die zweite Art bildet die Vorkammersaugung oder die Herzaspiration im engeren Sinne, deren Vorhandensein

---

[1]) SPRING a. a. O. p. 38. 39.

[2]) Die richtige Euler'sche Deutung dieser Benennung wurde schon §. 144 angeführt.

die Versuche von WEYRICH[1]) am Nachdrücklichsten zu unterstützen scheinen. Es beruhte auf einem Missverständnisse, wenn man sie aus dem Bernoulli'schen Theoreme (§. 137) herleiten wollte, da sich dieses nur auf den geringeren Seitenwanddruck im Vergleich mit der Spannung der äusseren Atmosphäre bezieht. Man kann dagegen die Erscheinung erklären und einige Einzelheiten derselben, die noch nicht geprüft worden, theoretisch voraussagen, wenn man die Verhältnisse des Herzbeutels in Betracht zieht.

§. 356. Da der Brustkasten (abgesehen von den Höhlungen des Bronchialsystemes der Lungen) und die Bauchhöhle luftdicht geschlossene Räume bilden, so presst der äussere auf ihren Wandungen lastende Luftdruck alle Eingeweide möglichst nahe zusammen. Die Wände eines jeden entleerten Theiles legen sich innig an einander. Neu eintretende Massen können sich nur mittelst ihres Druckes zwischen sie einzwängen. Die serösen Flüssigkeiten, das Herzwasser (Liquor pericardii), das Lungenwasser (Liquor pleuriticus) und das Bauchwasser (Liquor peritonei), die immer nur in geringen Mengen im gesunden Körper vorkommen, füllen die Lückenräume zwischen den einzelnen Organen aus und vertheilen sich sogleich in anderer Weise, so wie sich deren Lage aus irgend einem Grunde ändert. Das Herzbeutelwasser wechselt daher auch seine Stellungen mit der Zusammenziehung der Vorhöfe und der der Kammern. Es unterliegt also fortwährenden Schwankungen. Die Wandungslamelle des Herzbeutels des Menschen ist unten mit dem Zwerchfell verwachsen und hängt vorn mit dem Brustbeine und seitlich mit den Wandblättern der beiden Lungenfelle durch Bindegewebe zusammen. Nur der die Herzspitze umgebende Theil pflegt beweglich zu erscheinen[2]). Die Einathmung wird unter diesen Verhältnissen eine andere Form dem Herzbeutel verleihen, als die Ausathmung, so dass man Athmungsschwankungen des Herzbeutelwassers neben den Kreislaufsschwankungen desselben hat. Ziehen sich die Kammern zusammen und dringt die ausgetriebene Blutmasse in die zwei Hauptäste der Lungenschlagader und die Aorta zum Theil weiter vor, als diese Gefässe innerhalb des Herzbeutelsackes verlaufen, so verkleinert sich hierdurch der Innenraum derselben. Gestattet nun der Herzbeutel keine vollständige Ausgleichung, so werden die diastolischen Vorhöfe eine jener

---

[1]) V. WEYRICH, De cordis adspiratione experimenta. Dorpati 1853. 8. p. 17—23.

[2]) GEIGEL, Würzburger med. Zeitschr. Bd. III. 1862. S. 185.

Raumverminderung entsprechende Blutmenge einzusaugen suchen. Diese Wirkung kann daher nicht unmittelbar mit dem Anfange der Kammerzusammenziehung, sondern erst dann eintreten, wenn die Blutsäule der Arterien bis jenseit des Herzbeutels vorgeschoben worden und die entsprechende Kammerentleerung die Lücke erzeugt hat. Sie muss ferner mit der Menge des ausgestossenen Blutes zunehmen. Man sieht endlich, dass nur dieser Nebenumstand das Herz zur Saugpumpe macht, es aber sonst eine blosse Druckpumpe seinem Wesen nach bildet

§. 357. Die grosse Kranzvene des Herzens, die kleineren Herzblutadern und die beiden Hohlvenen ergiessen ihr Blut in die erweiterte rechte und das jederseitige Paar der Lungenvenen das ihrige in die linke Vorkammer. Die verschiedenen Richtungen dieser Ströme und die zahlreichen Unebenheiten der Innenfläche der Vorhöfe führen hierbei zu den mannigfachsten Interferenzen. Einzelne Theile scheinen jedoch auch Störungen durch Ableitungen von Strömen zu verhüten. Der an der oberen Hälfte der Vorhofsscheidewand befindliche Lower'sche Wulst (Tuberculum Loweri) ist nach RETZIUS so gestellt, dass der von der oberen Hohlvene kommende Blutstrom von der Mündung der unteren abgelenkt und mehr dem hinteren und unteren Abschnitte des Vorhofes zugeführt wird. Der der unteren Hohlvene soll vorzugsweise nach der Gegend des Herzohres gelangen.

§. 358. Ziehen sich die Vorhöfe zusammen, so kann das Blut nur so lange in die Hohlvenen, die kleineren Herzvenen und die Lungenvenen zurücktreten, als die Verkürzung der Vorhofsfasern, welche ihre Eintrittsstellen umkreisen, die Mündungen nicht vollständig schliesst. Manche der kleineren Herzvenen besitzen häufig niedere Klappensäume, die den Rücktritt des Blutes erschweren. Die grosse Kranzvene führt fast immer die Thebesische Klappe (Valvula Thebesii), die als ein vollkommenes Ventil zu arbeiten pflegt. Jene Blutader mündet nach WOLFF [1]) in einen eigenen, von der Klappe zum Theil verdeckten Hohlraum, den See (fovea s. lacus), den zwei starke Theilungen eines dicken von der rechten Seite hervorkommenden Muskelbündels zu umfassen pflegen. Die Klappe zeichnet sich häufig durch ihre verhältnissmässige Länge und ihre Schmalheit aus. Der Druck des Blutes zwängt sie an die ihr gegenüberliegende Herzwand und schliesst daher vermuthlich

---

[1]) WOLFF, Acta Acad. Petrop. 1777. Petropoli 1778. 4. p. 237.

den See oft genug früher, als die Muskelfasern den tieferen Theil der grossen Herzvene abgesperrt haben. Die den See umgebenden Muskelbündel verengen diesen später wahrscheinlicher Weise. Die Wirkung der Thebesischen Klappe wird auf diese Weise nicht gestört, wenn sie auch eine Anzahl kleiner Oeffnungen besitzt, wie dieses nicht selten vorkommt. Die Mechanik des Ventils ist hier auch der der Taschenventile unseres Körpers, der halbmondförmigen Klappen der Lungenschlagader und der Aorta, der Venen- und der Saugaderklappen gewissermaassen entgegengesetzt. Diese legen sich an die Gefässwände, wenn Blut oder Lymphe durchtreten soll. Sie entfernen sich von ihnen, wenn sie als Schlussventile thätig sind. Die Thebesische Klappe dagegen hält den Durchgang der Flüssigkeit bei dem Anliegen auf und gibt ihn bei der Entfernung frei. Da die Achse des Endtheiles der Kranzblutader und die des Sees nicht in einer geraden Linie zusammenfallen, so macht dann das Blut eine Biegung, indem es in diesen übertritt.

§. 359. Soll sich nicht das dunkelrothe Blut des rechten Vorhofes mit dem hellrothen des linken mischen, so muss die Vorkammerscheidewand beide Hohlräume vollständig trennen. Man gibt gewöhnlich an, dass das eirunde Loch die Vermischung in dem Fötus und dem Neugeborenen gestatte. Die Oeffnung werde aber durch die *Haut des eirunden Loches* (Membrana foraminis ovalis) nach der Geburt geschlossen. Nur eine *eiförmige Grube* (Fovea ovalis) bleibe daher an der dem rechten Vorhofe angehörenden Seite der Scheidewand zurück. Diese Auffassungsweise entspricht weder den Verhältnissen des Embryo, noch denen des Erwachsenen.

§. 360. Wolff [1]) schloss aus Untersuchungen, die er an dem Herzen menschlicher Embryonen, des Neugeborenen und des Kalbes angestellt hatte, dass das sogenannte eirunde Loch eine einfache die Scheidewand durchsetzende Oeffnung zu keiner Zeit bildet. Die untere Hohlvene mündet noch in dem dritten Schwangerschaftsmonate in den linken Vorhof und rückt in der Folge allmälig von dem linken nach dem rechten hinüber. Wolff glaubte selbst in dem Neugeborenen zu erkennen, dass das sogenannte eirunde Loch nur die Oeffnung derselben in die linke Vorkammer darstellt. Die Verbindung mit dem rechten dagegen führt dann zu dem unteren Hohlvenenstamme unmittelbar über. Der Vieussens'sche Ring sondert die für

---

[1]) Wolff, Novi Comment. Petrop. 1775. Petropoli 1776. 4. p. 362.

beide Vorhöfe gemeinsame Mündung in zwei Oeffnungsabschnitte. Man kann dabei die Eustachische Klappe (Valvula Eustachii) als eine Fortsetzung des rechten und die Klappe des eirunden Loches (Valvula foraminis ovalis) als eine solche des linken und des hinteren Wandtheiles der unteren Hohlvene ansehen. Jene sollte daher die Klappe des rechten und diese die des linken Sinus heissen[1]). Zieht sich der Blutstrom der unteren Hohlader auf den rechten Vorhof in dem Kinde zurück, so schmiegt sich die dem linken Vorhofe angehörende Klappe des eirunden Loches an die ihr benachbarte frühere linke Oeffnung der unteren Hohlader an[2]). Beide Vorkammern können auf diese Weise wechselseitig vollständig abgeschlossen werden. Ist aber noch keine Trennung in dem Fötus oder dem Neugeborenen vorhanden, so zeigt der Bau des Herzens, dass das Blut nur durch die linke Mündung der unteren Hohlvene, nicht aber durch eine besondere Scheidewandlücke von dem rechten Vorhofe aus in den linken dringt.

§. 361. Die Eustachische Klappe, die in einzelnen erwachsenen Menschen fast gänzlich mangelt, in anderen dagegen verhältnissmässig stark entwickelt und dann nicht selten vielfach durchlöchert ist, sollte nach den älteren Forschern[3]) verhüten, dass das Blut in die untere Hohlvene während der Vorhofszusammenziehung zurücktritt. Sie kann keinesfalls als vollständiges Ventil thätig sein, wird aber, wenn sie stark entwickelt ist, diesen Rückgang erschweren und so einigen Nutzen darbieten, wenn die Kreisfasern des Vorhofes die Mündung der unteren Hohlvene noch nicht geschlossen haben (§. 339).

§. 362. Le Cat, Duverney und Senac und in neuerer Zeit Bizot, Rokitansky, Ogle, Wallmann und vorzugsweise Bruch[4]) haben hervorgehoben und Klob, Langer und H. Meyer bestätigt, dass die Klappe des eirunden Loches fast in der Hälfte der Erwachsenen nicht vollständig schliesst. Die Untersuchungen, die Klob[5]) an 500 Leichen anstellte, ergaben z. B., dass 40 % der Männer und 50 % der Frauen diesen Fall darboten. Die Klappe ist an dem Umfange des eirunden bis runden Loches dichter oder

---

[1]) Wolff a. a. O. p. 366. 367.

[2]) Siehe auch H. Meyer, Virchow's Arch. Bd. XII. 1857. S. 364.

[3]) Haller a. a. O. p. 119.

[4]) C. Bruch in den Abhandlungen der Senckenberg'schen naturforschenden Gesellschaft. Bd. IV. Frankfurt 1862. 4. S. 46—48.

[5]) Klob bei Bruch S. 49.

lockerer angeklebt und lässt nicht selten oben eine elliptische Verbindungslücke zwischen den beiden Vorhöfen übrig. Man bemerkt diese jedoch häufig nicht bei dem unmittelbaren Anblicke, sondern muss sie erst mit der Sonde aufsuchen. Hatte DUVERNEY [1]) den rechten Vorhof geöffnet und blies er hierauf Luft in den linken von einer Lungenblutader aus ein, so zeigte sich, dass die Klappe die Verbindungslücke gleich einem Ventile vollständig schloss. Eine Kerzenflamme, die vor der in der rechten Vorkammer befindlichen Grube des eirunden Loches gehalten wurde, blieb auch aus diesem Grunde ruhig. Die Zusammenziehung der stärkeren Muskelmasse des linken Vorhofes des Erwachsenen (§. 344) liefert einen kräftigeren Druck als die des rechten. Der hierdurch erzeugte Verschluss der Klappe des eirunden Loches wird daher den Uebertritt des hochrothen Blutes aus dem linken in den rechten Vorhof verhüten. Da man aber keine Spur von Blausucht selbst bei offener Lücke bemerkt, so muss auch jede irgend merkliche Vermischung beider Blutarten während der Erschlaffung der Vorhöfe ausbleiben. Dieses erklärt sich vielleicht aus dem §. 192 erläuterten Abprallen zweier an Seitendruck oder Geschwindigkeit nicht sehr verschiedener Ströme.

§. 363. Ist die Zusammenziehung der Vorkammern so weit vorgeschritten, dass die Mündungen der Kranzvenen des Herzens, die der beiden Hohlvenen und der vier Lungenvenen vollständig verschlossen worden, so kann das gedrückte Blut nur durch die Kammermündung, die Atrio-Ventricularöffnung (Ostium atrio-ventriculare), die man auch unpassender Weise die venöse Mündung (Ostium venosum) nennt, ausweichen und in die entsprechende Kammer übertreten. Der Druck des Blutes schmiegt dabei die häutigen Abtheilungen der hier angebrachten Segelventile, der schon von ERISISTRATUS [2]) gekannten und mit dem Namen der dreizipfeligen Klappe (Valvula triglochis s. tricuspidalis) belegten Vorrichtung in der rechten und der zweizipfeligen (Valvula bicuspidalis s. mitralis) in der linken Kammer an die Wände an. Eine wahrscheinlich nahezu kreisrunde Durchgangsöffnung gestattet daher den möglichst freien Eintritt des Blutes in jede Kammer. Ihre Elasticitätsform geht dabei in ihre Dehnungsgestalt über. Die grössere Wanddicke hindert es hier, dass sich die zwischen den

---

1) DUVERNEY bei BRUCH S. 61.

2) PARISER a. a. O. p. 24.

Fleischbälkchen enthaltenen Wandungsstellen nach aussen in ähnlicher Weise emporheben, wie die Zwischenräume zwischen den Kammmuskeln während der Zusammenziehung der Vorhöfe (§. 348).

§. 364. Spritzt man die Herzkammern des Menschen von der Aorta und hierauf von der Lungenschlagader aus ein, so findet man die zwei- und die dreizipfelige Klappe gestellt[1]), wenn selbst ein Theil der Masse in die Vorhöfe übergegangen ist. Hydraulische Versuche am todten Herzen führen noch weiter. Man hängt dieses z. B. an dem aufgeschnittenen rechten Vorhofe auf und bindet eine Röhre in die Lungenschlagader. Giesst man dann Wasser von einer passenden Höhe durch die rechte Kammermündung ein, so sieht man, dass sich die Lappen der dreizipfeligen Klappe zuerst von der Kammerwand entfernen, dann im Wasser schweben, endlich die Mündung vollständig schliessen und geschlossen bleiben, wenn man mit dem Eingiessen zur rechten Zeit aufhört. Drückt man hierauf die rechte Kammer zusammen, so steigt das Wasser in die in der Lungenschlagader eingebundene Röhre empor. Es sinkt aber nicht vollständig nach dem Aufhören des Druckes zurück, weil die halbmondförmigen Klappen der Lungenschlagader binnen Kurzem ventilartig schliessen. Die Wiederholung des Eingiessens öffnet die dreizipfelige Klappe und die des Zusammendrückens der Kammer die halbmondförmigen Taschen, so dass dann das Wasser in der Glasröhre immer höher emporsteigt. Es sinkt nach dem Aufhören des Druckes zurück, erhält sich aber auf einer grösseren Höhe als früher, weil jetzt der Schluss der halbmondförmigen Klappen rascher zu Stande kommt. Die Versuche gelingen in gleicher Weise an der zweizipfeligen Klappe der linken Kammer und den halbmondförmigen Taschen der Aorta. Man kann auf diese Art unmittelbar zeigen, wie die Atrioventricularklappen zur Zeit der Kammererschlaffung geöffnet und zu der der Zusammenziehung geschlossen sind, das Umgekehrte dagegen für die halbmondförmigen Arterienklappen gilt. Die beiden Ventilarten befinden sich also gleichzeitig in entgegengesetzten Zuständen[2]).

§. 365. Jede in ihrer Schliessungsform eingestellte venöse Klappe bildet eine quere nach dem Vorhofe aufgeblähte Scheide-

[1]) Harvey (a. a. O. p. 157) sagt treffend: Tricuspides in introitu venae cavae et arteriae venosae janitores sunt.

[2]) Eine Abbildung der zwei Wirkungsarten nach Versuchen an einem Menschenherzen findet sich in meinem Grundriss der Physiologie. Vierte Auflage. S. 120. 121. Fig. 63. 64.

wand, in der man ein eigenthümliches, durch das Zusammenstossen der einzelnen Klappensäume erzeugtes Liniensystem bemerkt. Fig. 12 stellt dieses für die dreizipfelige und Fig. 13 für die zweizipfelige Klappe eines Menschenherzens dar. Man erkennt den vorderen Lappen a, den rechten oder äusseren b und den hinteren c Fig. 12 der dreizipfeligen und die beiden Hauptlappen, den vorderen d und den hinteren e Fig. 13 der zweizipfeligen Klappe, sieht aber auch, dass diese noch einen kleineren dritten, äusseren oder linken Lappen f besitzt. Die einfachen oder gabelig getheilten Linien rühren von den untergeordneten Läppchen der Randbegrenzungen der einzelnen Hauptzipfel her. Die Sehnen[1]) der Warzenmuskeln und der verhältnissmässig kleinen Abschnitte der übrigen Muskelmasse, die sich zu ihnen begeben, breiten sich an deren Unterfläche spitzbogenartig aus. Sie gestatten auf diese Weise das segelartige Aufblähen[2]) der Ventile durch jeden Druck, der in der Richtung von der Kammer nach der Vorkammer wirkt, verhüten aber das Umklappen in die Höhlung der letzteren. Drückt man die mit Wasser gefüllte Kammer vorsichtig zusammen, so sieht man, wie sich die Läppchen der Zipfelränder allmälig entfalten, an einander legen, dabei auf das Genaueste schliessen und die in Fig. 12 und 13 gezeichneten Anfügungslinien erzeugen. Schneidet man das kleinste Läppchen hinweg oder trennt man nur eine von den zur Klappe gehenden Sehnen, so ist der vollständige Verschluss unwiderbringlich aufgehoben. Die Flüssigkeit tritt durch die entsprechende Oeffnung in den Vorhof über. Dieses zeigt unmittelbar, an wie zarten Fäden die Regelmässigkeit des Blutlaufes hängt und wie die geringste Einschrumpfung oder Verknöcherung, welche die vollkommene Beweglichkeit und Entfaltung der Zipfel hindert, einen unpassenden Rückweg einem Theile des Blutes öffnet.

Fig. 12.

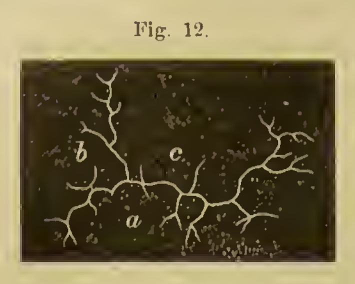
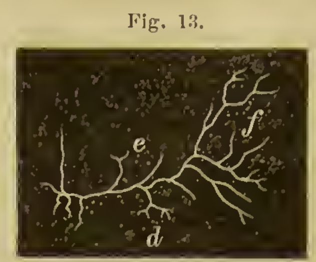


Fig. 13.



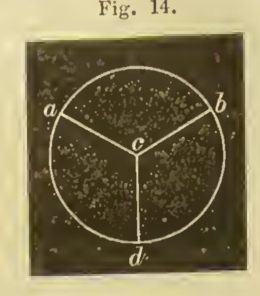
§. 366. Hat man eine Wassersäule von einigen Centimetern Ueberschusshöhe in die Glasröhre, welche in die Lungenschlagader eingebunden worden, auf die §. 364 geschilderte Weise empor-

[1]) Ueber Muskelfasern in den Sehnen der Valvula mitralis s. Oehl, Mem. delle Reale Acad. di Torino. Tom. XX. 1861. 4. p. 1—11.

[2]) Der Vergleich mit einem Segel rührt von Lower her. Siehe Spring a. a. O. S. 105. 106.

getrieben und blickt hierauf von oben hinein, so sieht man die Schlussform der halbmondförmigen Klappen, wie es Fig. 14 darstellt[1]). Die Taschenränder stossen unter Winkeln von 120° regelmässig zusammen und die etwa vorhandenen Stützknötchen (Noduli Morgagnii für die Lungenschlagader und Noduli Arantii für die Aorta) legen sich in der Mitte an einander. Spritzt man die Lungenschlagader oder die Aorta mit einer erstarrenden Masse in der Richtung nach dem Herzen zu ein, so kann man die untere Ansicht der gefüllten Taschen mit ihrer keilförmigen Höhlung und die Ausbauchungen der Valsalva'schen Sinus zur Anschauung bringen.

Fig. 14.



§. 367. Verbindet man diese Versuche mit Messungen der thätigen Druckwirkungen, so findet man, dass die venösen und die arteriellen Klappen schon unter sehr geringen hydrostatischen Druckhöhen (§. 24) schliessen und sich wiederum unter etwas grösseren, aber immer noch kleinen öffnen. Die Vortrefflichkeit dieser Ventile bewährt sich also nicht bloss durch die Genauigkeit, sondern auch durch die Leichtigkeit ihrer Wirkung. Dieses muss aber zur Folge haben, dass die vollkommene Einstellung dieser Klappen schon am Anfange des ihr entsprechenden Zeitraumes beendigt ist. Die Geschwindigkeit, mit der das Blut von dem Vorhofe in die Kammer strömt, reicht vermuthlich in der Regel hin, die Atrioventricularklappe durch das Zurückprallen der Flüssigkeit zu schliessen, wie Ludwig und Baumgarten annehmen. Wäre dieses nicht der Fall, so könnte die Federkraft das Gleiche bewirken, wenn die zwischen den Zusammenziehungen der Vorhöfe und der Kammern liegende Zeit eine volle Entfaltung ihres Einflusses erlaubte. Sie wird die Kammerwände unmittelbar nach dem Aufhören der Vorkammerverkürzung mit derselben Kraftgrösse, mit der sie gespannt worden, aus der Dehnungsgestalt in die Elasticitätsform zurückzuführen suchen. Der hierbei entwickelte Druck ist mehr als hinreichend, die venöse Klappe zu schliessen. Keine dieser Wirkungen kann sich geltend machen, wenn die Zusammenziehung der Vorhöfe den Anfang der Kammerverkürzung überdauert und bis zu ihrem Ende kraftvoll genug bleibt, Blut in die Kammerhöhle zu treiben. Der systolische Druck der Ventrikel schliesst dann die Klappen in dem-

[1]) Sie ist schon bei Lower a. a. O. Tab. IV. Fig. 4 abgebildet.

selben Augenblicke, in dem er den der Vorhöfe an Grösse übertrifft. Diese Thatsachen erklären auch, wesshalb ein genügender Klappenschluss bis zu den letzten Augenblicken der Herzthätigkeit fortdauert.

§. 368. Die Versuche, die man an dem todten Herzen anstellt, lehren schon, dass die oft beschriebenen, in dem Menschen jedoch nicht nachweisbaren quergestreiften Muskelfasern im Innern der venösen Klappen für den Schluss derselben nicht nöthig sind. Da sich aber mit diesen die Sehnen der Warzenmuskeln verbinden, so ändert sich ihre Stellung im Laufe der Kammerzusammenziehung. Hat sich die Atrioventricularklappe geschlossen, so ragt sie im ersten Augenblicke in den erweiterten Vorhof wie ein aufgeblähtes Segel bauchig hinein. Es wäre sogar möglich, dass einzelne Stellen derselben den zur Herstellung der Segelcurve (§. 34) nöthigen Nebenbedingungen genügten. Ihre einzelnen Lappen werden hierauf um so mehr zurückgezogen, je mehr sich die Warzenmuskeln verkürzen. Da die Mitte nach der Kammerspitze hin am meisten zurückweicht, so bildet sich hierdurch oberhalb der immer noch schliessenden Klappe ein trichter- oder kegelförmiger Vorraum, dessen Grundfläche gegen die Vorhofshöhle gerichtet ist und der sich mit dem Blute derselben anfüllt, so dass schon eine gewisse Blutmenge im Laufe der Kammerzusammenziehung jenseit der Ebene der venösen Mündung vordringt[1]). Die Trichterform dieser Flüssigkeitsmasse bedingt es, dass sie wie ein Keil vordringt, wenn sie der Vorhofsdruck vorwärts treibt. Sie öffnet daher um so leichter die Atrioventricularklappe, deren Säume sich schon vorher den Wänden vermöge der Kegelbildung genähert haben. Während also die Lappen dieser Ventile aus der Oeffnungs- in das Maximum der Schliessungsstellung plötzlich übergehen, so wie das mit einer geringen Druckkraft versehene Blut zwischen den Sehnen der Warzenmuskeln hinter die Zipfel gleitet und diese aufbläht, so bereitet sich der Rückgang vermöge der Thätigkeit eben dieser Warzenmuskeln allmälig vor und wird hierauf in dem ersten Augenblicke der Vorhofsverkürzung rasch vollendet. Wenn wir §. 353 annahmen, dass sich die innerste Muskellage der Kammern zuerst zusammenzieht, so schliesst dieses nicht aus, dass ihre Verkürzung und die der Warzenmuskeln

---

[1]) Nega (Beiträge zur Kenntniss der Function der Atrioventricularklappen des Herzens. Breslau 1852. 4. S. 13) konnte das Zurückweichen in dem Herzen eines frisch getödteten Kalbes nach der Einspritzung warmen Wassers unmittelbar beobachten.

im Laufe der Verengerung fortwährend zunimmt und diese zuletzt in der Kammerwand selbst fast gänzlich verschwinden können.

§. 369. Die Leitungsbahn, die nach der arteriellen Oeffnung einer jeden Herzkammer überführt, zeichnet sich durch ihren Mangel an gröberen Unebenheiten und die Glätte ihrer Oberfläche aus. Das von der Kammerzusammenziehung gedrückte Blut, das den Austritt durch die venöse Oeffnung geschlossen findet, gelangt daher in die allein offene Mündung der Lungenschlagader oder der Aorta unter geringen Reibungshindernissen. Der von Wolff [1]) sogenannte Trichter der rechten Kammer und eine ähnliche Einrichtung der linken erzeugen einen kegelähnlichen Uebergangsraum einer jeden Kammerhöhlung in die entsprechende arteriöse Mündung, so dass sich die Grösse der durch plötzliche Durchmesserveränderungen bedingten Störungen (§. 187) verkleinert. Arbeitet die Kammer mit vollständiger Kraft und entleert sie daher ihren gesammten Blutinhalt, so schwinden zwar die Haupthöhle und die zwischen den Fleischbälkchen befindlichen Lückenräume nie vollständig. Sie nehmen jedoch nur so viel Raum ein, als die durch die Adhäsion (§. 58) zurückgehaltene Flüssigkeit fordert.

§. 370. Der Grundsatz des nach Art eines Keiles wirkenden kegelförmigen Vorraumes, den wir an den venösen Klappen durchgeführt fanden (§. 368), ist auch in den arteriellen benutzt. Wir sahen schon §. 366, dass er nach dem Schlusse der halbmondförmigen Klappen gegen das Herz zu übrig bleibt. Wir begegnen jedoch dem Unterschiede, dass er zur Annäherung der Klappenhäute an die Arterienwand Nichts beiträgt. Diese Stellungsänderung gehört dem Anfange der Kammerzusammenziehung allein an. Hat sie auch ihre grösste Höhe erreicht, so behalten doch immer die Taschen der halbmondförmigen Klappen eine geringe Flüssigkeitsmenge zurück, weil die durch die dünneren Wandtheile erzeugten Ausbauchungen der Valsalva'schen Sinus die vollständige Entleerung weniger begünstigen. Diese zwischen den halbmondförmigen Klappen und der Schlagaderwand befindliche Blutschicht bleibt aber mit dem übrigen Blute verbunden. Sie vermittelt daher die Fortpflanzung der ersten Druckwirkung der Schlagadern, wenn sich diese nach dem Ende der Kammersystole elastisch zusammenziehen, und erleichtert desshalb die Füllung und mithin auch den Schluss der Klappen.

---

[1]) Wolff, Acta Petrop. 1780. P. II. Petropoli 1784. 4. p. 213. 214.

§. 371. Man hat häufig angenommen, dass die Zusammenziehung der Kammern im Menschen eben so lange als die Erschlaffung dauert und dieses durch die Auscultation der Herztöne und gleichzeitige Pendelbeobachtungen zu beweisen gesucht. Die spätere Wiederholung des nicht ganz zuverlässigen Verfahrens ergab aber, dass merkliche Abweichungen von jener gleichen Zeitdauer in einzelnen Menschen vorkommen[1]. Die Kammerzusammenziehung scheint $^1/_3$ bis $^2/_3$ der Dauer eines ganzen Herzschlages im lebenden Menschen anhalten zu können. Die Aufzeichnung von Curven des blossgelegten Herzens der Säugethiere führte LUDWIG zu dem Ergebnisse, dass die Zeit der Ruhe der Kammer bei langsamem und die der Zusammenziehung derselben bei schnellem Herzschlage grösser als die des entgegengesetzten Zustandes ausfällt. Das absterbende und daher langsam schlagende Herz eines Hingerichteten lieferte VIERORDT ein Verhältniss wie 1 : 6,5 für die Systole zur Diastole. Die Zusammenziehung der Vorhöfe hält im Allgemeinen kürzer als die Erweiterung an.

2. Stoss und Drehung des Herzens.

§. 372. Tödtet man ein Kaninchen oder ein anderes Säugethier durch die Trennung des verlängerten Markes, leitet die künstliche Athmung ein, öffnet den Brustkasten und den Herzbeutel und hält einen Finger in der Nähe einer beliebigen Stelle der Kammern, so stösst diese wie ein harter Körper gegen die tastende Hautstelle im Augenblicke der Zusammenziehung. Man kann den Herzstoss an dem unversehrten Herzbeutel oder durch das Zwerchfell von der Bauchhöhle aus in ähnlicher Weise fühlen. Wir verwechseln in diesem Falle Härte und Spannung, wie bei dem Betasten anderer zusammengezogener Muskeln. Die Ursache des Eindruckes liegt in der plötzlichen Verdickung der Kammermasse mit oder ohne die Ortsveränderung derselben.

§. 373. Der gewöhnliche sogenannte Herzstoss (Ictus cordis) besteht in dem Anschlagen des Herzens und der dadurch erzeugten sichtlichen Erhebung der benachbarten nachgiebigen Theile der Brustwand. Man bemerkt ihn in der Regel im Menschen in der

---

[1]) Siehe m. Lehrb. der Physiologie. Zweite Auflage. Bd. I. S. 422. 423.

Gegend des fünften Zwischenrippenraumes der linken Seite. Da sich die Lage des Herzens mit den Körperstellungen ändert, so sieht man ihn verhältnissmässig am Leichtesten, wenn der Mensch steht und seinen Körper nach vorn und links neigt. HARVEY[1]) trat schon der Annahme entgegen, dass er mit der Kammererschlaffung zusammenfalle. Die unmittelbare Beobachtung des von der Seite blossgelegten Herzens, der Vergleich der Zeiten des Stosses und des ersten Herztones oder der Erweiterung der Schlagadern und die graphische Darstellung lehren, dass der Anschlag an die Brustwand kurz nach dem Beginn der Kammerzusammenziehung anfängt und die Bewegung mit ihr aufhört, wenn keine Nachschwingungen störend eingreifen. Sticht man eine Prüfungsnadel (§. 329) in den Bezirk des Brustkastens eines Kaninchens oder eines Murmelthieres, welcher der Stossgegend entspricht, so findet man sie nach der Eröffnung der Brusthöhle mehr oder weniger von der Herzspitze entfernt. Affen, Katzen, Hunde, Wiederkäuer und Einhufer schlagen mit dem mittleren und oberen Theile der Kammermasse nach CHAUVEAU an. Vieles hängt übrigens hier von der eingenommenen Stellung wie im Menschen ab, so dass man keine allgemeinen Sätze aussprechen darf. Liegt z. B. der Mensch auf der rechten Seite, so wird in der Regel der gewöhnliche Herzstoss undeutlich. Man fühlt aber den Schlag des rechten Vorhofes dicht nach links von dem Schwerdtfortsatze des Brustbeines. FRIEDREICH[2]) fand in einem mageren Menschen, dass sich die Zusammenziehung der Herzspitze bei dem Anlegen des Fingers an den sechsten Zwischenrippenraum erkennen liess, der Herzstoss dagegen in dem fünften wie gewöhnlich sichtbar war. Manche Forscher, die sich ein eigenes Urtheil durch Thierversuche verschafften, nannten auch die Erscheinung den Spitzenstoss, nicht weil die Spitze, sondern weil der Spitzentheil des Herzens an die Brustwand schlägt.

§. 374. Es folgt aus den §. 372 angeführten Thatsachen, dass jeder Abschnitt des Herzens gegen die Brustwand stossen wird, wenn er ihr so nahe liegt, dass ihn seine plötzliche, die Zusammenziehung begleitende Verdickung an jene anpresst. Geben die Wandungen nach, so verräth sich der Anschlag durch eine ihm entsprechende Erhebung der Theile. Es kann sich daher nur um die

---

[1]) HARVEJI, Exercitationes de motu cordis p. 27. 30 und Exercitationes de generatione animalium p. 313. 314.

[2]) N. FRIEDREICH, Krankheiten des Herzens. Erlangen 1861. S. 178.

Frage handeln, welche Bezirke des Herzens so gelagert zu sein pflegen, dass sie jenen Grundbedingungen genügen. Diese von FR. ARNOLD zuerst vertheidigte Auffassungsweise bewährt sich in denjenigen Krankheitsfällen, in denen die der Brust dicht anliegende hypertrophische Herzmasse den Stoss in mehr als einem Zwischenrippenraume erkennen lässt. Die Erhebungen schreiten dann oft sichtlich in der Richtung von der Grundfläche nach der Spitze der Kammern fort. Beschränkt sich die Wirkung auf die Gegend des fünften Zwischenrippenraumes unter regelrechten Verhältnissen, so kann dieses davon herrühren, dass nur hier das Herz den Weichgebilden der Brustwand nahe genug liegt, sonst dagegen von der Lunge verdeckt wird oder andere unnachgiebige Massen, wie das Brustbein, den fünften und den sechsten Rippenknorpel der linken Seite berühren. Man unterdrückt auch die äussere Wahrnehmbarkeit eines jeden Herzstosses, wenn man tief einathmet, weil sich dann der untere Theil der sich ausdehnenden linken Lunge zwischen dem Herzen und der Brustwand einschiebt. Er wird schon undeutlicher, so wie man sich von der rechten auf die linke Seite legt. Diese Thatsachen zeugen gegen die Grundansicht von KIWISCH, dass das Herz des luftdichten Verschlusses der Brusthöhle wegen an der Brustwand unverrückbar anliege. Die Behauptung, dass das Herzbeutelwasser seiner geringen Menge halber nicht in Betracht komme, ist eben so wenig gerechtfertigt. Nur seine Verdrängung macht das Hervortreten der verdickten Muskelmasse des Herzens möglich. Man sieht endlich, dass der Herzstoss eine verwickeltere Erscheinung bildet, als man gewöhnlich annimmt. Er erhebt die nachgiebigen Weichgebilde und erschüttert die dichteren, wie die Rippenknorpel und das Brustbein. Würde man z. B. eine mit einem ebenen Spiegelchen versehene Nadel in der Haut, welche diese Theile deckt, befestigen, so könnte ein durch eine kleine Flamme erzeugtes Spiegelbild mittelst seines Erzitterns anzeigen, welche Stärke die Erschütterung besitzt und wie weit sie sich ausdehnt.

§. 375. Legt man das Herz eines Säugethieres bloss, so sieht man bisweilen, dass sich der Spitzentheil im Augenblicke der Kammerzusammenziehung gegen die Brustwand vorschiebt. Ein schwächerer Nachschlag kann während des Schlusses der Schlagaderklappen folgen. Die meisten Schriftsteller hielten seit HARVEY [1]) die zuerst genannte Bewegung für die Ursache des Herzstosses,

[1]) HARVEJI, Exercitationes de motu cordis p. 27.

andere dagegen bestritten dieses, weil sie in vielen Versuchen mangelt. Ihr Auftreten setzt eben noch gewisse Nebenbedingungen voraus. Diese liefern auch den Grund, wesshalb die einzelnen, den Menschen betreffenden Angaben nicht übereinstimmen. HARVEY sah schon an dem §. 327 erwähnten Kranken, dass das Herz während der Kammerzusammenziehung nach vorn und (mit seinem Spitzentheile) nach oben ging und an die Brustwand schlug, wie es auch die Beobachtung an Thieren häufig zeigt. MARTINEZ, so wie MONOD und CRUVEILHIER beobachteten das Gleiche bei Vorfall des Herzens (§. 327). SKODA dagegen bemerkte in einem solchen Falle ein Herabrücken der Herzspitze. FRICKHÖFFER nahm dasselbe in einem Knaben mit Mangel der untersten Rippen wahr. BAMBERGER [1]) fühlte eine Bewegung derselben nach unten und links in einem Manne, in dem eine Verwundung die Einführung des Fingers in den Herzbeutel gestattete, und GERHARDT in einem Falle, in dem eine Darmfistel eines Mädchens bis zum Zwerchfell vorzudringen erlaubte. DA COSTA fand endlich, dass der Herzstoss tiefer als zwischen der fünften und der sechsten Rippe und mehr gegen die Mittellinie einige Zeit nach dem Beginne des anhaltend tiefen Einathmens wahrgenommen wird. Hatte DONDERS die Weichgebilde in der Gegend des Herzstosses bis auf das Lungenfell im Hunde entfernt, so sah er, dass die zusammengezogenen Kammern nach unten vorrückten. KÖLLIKER und BAMBERGER hatten schon das Gleiche im Kaninchen bemerkt. Der Schein einer solchen Bewegung kann übrigens auch dadurch entstehen, dass sich das Herz im zweiten Abschnitte der Kammersystole verlängert und zuspitzt.

§. 376. Die Beobachtungen, die man an dem ausgeschnittenen Herzen der Säugethiere und des Frosches anstellt, erklären zum Theil diese Verschiedenheiten. Hält man das Herz z. B. des Frosches an den Vorhöfen frei in der Luft, so nähert sich die sich abrundende Herzspitze der Grundfläche während der Zusammenziehung der Kammer. Die Querfurche scheint oft hinab- und während der Erschlaffung hinaufzurücken. Legt man dasselbe Herz flach auf eine Glasplatte, so hebt sich die Spitze mehr oder weniger. Stützt man aber nur die Querfurche durch die Kantenfläche des Glases, während die übrigen Theile der Kammern mehr oder minder wagerecht in der Luft schweben, so werden sie während ihrer Zusam-

---

[1]) H. BAMBERGER, Virchow's Arch. Bd. IX. 1856. S. 328—347 und Lehrbuch der Krankheiten des Herzens. Wien 1857. 8. S. 25. Vgl. auch S. 51.

menziehung kegelförmig. Die Herzspitze geht dabei in einem starken Bogen nach oben. Man erhält noch diese Bewegungsart, wenn man die Vorhöfe und den der Querfurche benachbarten Theil der Kammern abgetragen hat und nur den obersten Abschnitt des Restes gegen eine feste Unterlage wagerecht stemmt. Es ergibt sich hieraus, dass die Anordnung der Muskelfasern allein es möglich macht, dass sich die Spitze hebt, wenn der der Querfurche nähere Theil als Stützpunkt dient.

§. 377. Das Herz ist an den grossen Gefässen verhältnissmässig frei aufgehängt und ändert desshalb auch seine Lage mit den verschiedenen Körperstellungen. Füllen sich die Vorhöfe, während sich die Kammern zusammenziehen, so liegt der Schwerpunkt des Ganzen jenen näher, als wenn sich die Vorkammern verkürzen und das Blut die Kammerhöhlen ausdehnt. Dieser Wechsel begünstigt es, dass sich die Spitzentheile der Kammern während der Verkürzung nach oben wenden [1]).

§. 378. Gutbrod und Skoda, später Fatou und in neuerer Zeit Hiffelsheim suchten das Gesetz des Rückstosses (§. 195) auf das Herz anzuwenden. Derjenige Wandtheil einer jeden Kammer, welcher der arteriösen Mündung in der Richtung der Achse des austretenden Blutstromes gerade gegenüberliegt, hätte hiernach einen durch keinen Gegendruck aufgehobenen Blutdruck auszuhalten, welcher an Grösse dem gleicht, der das Blut in die Lungenschlagader oder in die Aorta treibt. Sein Werth müsste mit dem Quadrate des Halbmessers der kreisförmig gedachten arteriösen Mündung und dem der Ausflussgeschwindigkeit und in einfachem Verhältnisse der Eigenschwere des Blutes nach der §. 195 fgg. gegebenen Erläuterung zunehmen und dem Bodendrucke (§. 32) einer Blutsäule gleichen, welche die Ebene der arteriösen Mündung zur Grundfläche und die doppelte Geschwindigkeitshöhe (§. 195) des austretenden Blutes zur Höhe hat. Dieser Druck sollte nach jenen Forschern das Herz in einer dem Ausflusse des Blutes entgegengesetzten Richtung stossen und dabei den Spitzentheil des Herzens an die Brust in gleicher Weise schlagen lassen, als ein Gewehr oder eine Kanone bei dem Abfeuern zurückgeht. Lässt man aber auch alle theoretischen Einwendungen, die gegen diese Vorstellung sprechen, unbeachtet, so kann man den Spitzentheil des Herzens in Kaninchen, die man nach dem §. 330 erwähnten Verfahren vorbereitet hat, abtragen, also die den Rück-

[1]) Vgl. auch Geigel in der Würzburger med. Zeitschr. Bd. III. 1863. S. 178—192.

stoss aufhebende Gegenöffnung herstellen, ohne dass das Vorrücken des Herzens, wenn es früher bemerkt würde, und selbst das Anschlagen des Spitzentheiles an die Brustwand nothwendiger Weise aufhören.

§. 379. Treibt die Kammerzusammenziehung Blut in die grossen Schlagadern ein, so dehnen sich diese der Quere und der Länge nach, weil sich die vorliegenden Blutsäulen nicht widerstandslos verschieben lassen. Die aufsteigende Aorta und der Aortenbogen, so wie die Lungenschlagader und die beiden Aeste derselben strecken sich aus diesem Grunde. Das an ihnen und den anderen grossen Gefässen aufgehängte Herz kann desshalb eine nach vorn und meist nach oben gerichtete Hebelbewegung machen, deren Grösse mit dem Widerstande des Blutes, der elastischen Wirkung der Schlagadern und der Beweglichkeit des Herzens zu- und der Schwere desselben und der tieferen Lage seines Schwerpunktes abnimmt. Sie verstärkte sich daher auch, als SPRING die absteigende Aorta zusammendrückte, hörte dagegen mit der Schwächung der Herzschläge auf, einige Zeit nachdem er die obere Hohlvene und die linken Lungenblutadern verschlossen hatte. Es ergibt sich aus dem eben Dargestellten, dass jede merkliche Hebelbewegung erst einige Zeit nach dem Anfange der Kammerzusammenziehung beginnt und etwas später als diese aufhört. Die krankhafte unvollständige Entleerung der Kammerhöhle oder eine regelwidrige Steifheit der Wandungen der grossen Schlagadern wird sie bis zur Unmerklichkeit herabsetzen, ein grosser Widerstand der vorliegenden Blutsäule dagegen wesentlich erhöhen können.

§. 380. HARVEY[1]) kannte wahrscheinlich schon die Achsendrehung des Herzens. Man sieht nämlich häufig, dass sich der Kammertheil während seiner Zusammenziehung so wendet, dass der linke Ventrikel nach der rechten Seite des Thieres und der rechte mehr nach rechts und hinten rückt. Die meisten Forscher sagen daher, dass sich das Herz während der Kammerverkürzung nach rechts und während der Erschlaffung nach links dreht. Wollte man die Verhältnisse im Sinne der Mechaniker auffassen (§. 345), so müsste man umgekehrt erklären, dass sich das Herz schraubenartig nach links während der Kammerverkürzung wendet[2]). Da

---

[1]) HARVEY a. a. O. p. 50. 51.

[2]) Der Widerspruch von CRUVEILHIER (siehe SPRING a. a. O. p. 102) gegen die übrigen Beobachter rührt vielleicht davon her, dass hier die Anschauung der Mechaniker berücksichtigt wurde. Ueber die Drehung in Vögeln s. OEHL, Sitzungsber. der Wien. Akad. Bd. XXXVII. 1859. p. 667.

man diese Bewegungsart an dem blutleeren Herzen nicht bemerkt und sie bei beträchtlicher Blutfülle nachdrücklicher zum Vorschein kommt, so lässt sich erwarten, dass man sie auch an dem todten Herzen durch Einspritzungen künstlich erzeugen kann. Die Versuche, die KÜRSCHNER und ich an frisch getödteten Kaninchen mit Wassereinspritzungen von der unteren oder der oberen Hohlvene oder den Lungenvenen aus anstellten, bestätigten diese Folgerung.

§. 381. Fassen wir Alles zusammen, so sehen wir, dass das Herz gewisse beständige und andere mit den Nebenbedingungen wechselnde Form- und Lageveränderungen darbietet. Die in dem ersten Augenblicke der Zusammenziehung eintretende Vergrösserung des Querschnittes, die spätere Verkleinerung desselben und die am Ende durchgreifende Längenabnahme bilden die stets wiederkehrenden Erscheinungen. Sie können es bedingen, dass das Herz an eine Nachbarmasse, also auch an die Brustwand schlägt, wenn nicht der Zwischenraum zwischen beiden Theilen im Zustande der Erschlaffung grösser als der durch die Verdickung erzeugte Unterschied ist. Die Spitzengegend des unversehrten Herzens kann sich schon vermöge des Verlaufes der Muskelfasern der Kammern in dem Augenblicke der Zusammenziehung heben, wenn die Anheftungsmasse (§. 332) einen festen Haltpunkt liefert, so dass dann die Kammern eine einem geraden Kegel ähnliche Gestalt annehmen. Die Aenderung des Schwerpunktes während der Kammerverengerung sucht die Herzspitze in einem Bogen nach oben und die Streckung der grossen Schlagadern sie nach vorn und oben zu führen. Diese Bewegung und der Wirkungsunterschied der auf die rechte und die linke Herzhälfte thätigen Kräfte, der die Achsendrehung erzeugt, werden erst dann merklich, wenn die Füllungsgrösse der Herzkammern und der Widerstand des Schlagaderblutes eine gewisse Grösse überschreiten.

§. 382. Man sieht in einzelnen Menschen, dass sich derselbe Bezirk des fünften Zwischenrippenraumes, der bald darauf durch den Herzstoss gewölbt wird, unmittelbar vorher einsenkt. Diese Anfangsvertiefung, dieser systolische Rückzug von SANDER oder präsystolische von SPRING[1]) fällt wahrscheinlich mit der Anfangszusammenziehung der Kammern zusammen. Da sie dann kürzer und dicker werden (§. 353), so entfernt sich auch zuerst die Gegend des Spitzentheiles, die den Herzstoss in dem fünften

---

[1]) SPRING a. a. O. p. 41. 87. 103 und 104.

Zwischenrippenraume erzeugt, von der Brustwand, wenn die Verdickung weniger als die durch die abfallende Wölbung erzeugte Abstandsvergrösserung beträgt. Wird der Zwischenraum von Herzbeutelwasser sogleich eingenommen, so findet der äussere Luftdruck keine Zeit, eine entsprechende Vertiefung herzustellen. Diese erzeugt sich hingegen, so wie eine Verwachsung des Spitzentheiles der Kammern mit dem Herzbeutel oder eine andere Nebenbedingung die Anfüllung hindert. Es erklärt sich hieraus, wesshalb man auch jene Erscheinung bei der Obliteration des Herzbeutels oder der gegenseitigen Verklebung der Wandungs- und der Organlamelle desselben am Ehesten bemerkt.

3. Herztöne.

§. 383. Legt man das Ohr an einen Bezirk der Brustwand, hinter dem oder in dessen Nachbarschaft das Herz liegt, so vernimmt man zwei Geräusche während der Dauer eines jeden Herzschlages. Obgleich die ihnen zum Grunde liegenden Schwingungen nicht denjenigen Grad periodischer Regelmässigkeit darbieten, den eine wahrhaft musikalische Tönung voraussetzt, so pflegt man sie doch mit dem Namen der Herztöne zu bezeichnen. Man unterscheidet demgemäss einen stärkeren, tieferen und länger anhaltenden ersten und einen schwächeren, höheren und kürzeren zweiten Herzton. Das Hörrohr oder das Stethoskop, dessen man sich zur Auscultation dieser und anderer Töne und Geräusche bedient, sammelt zwar die Schallstrahlen mittelst seines trichterförmigen Theiles. Es bildet aber dessenungeachtet kein so wesentliches Verstärkungsmittel[1] der Wahrnehmung, wie die Lupe für das Auge.

[1]) Die gewöhnlichen Stethoskope können die Schallwellen dem Ohre auf doppeltem Wege zuleiten, durch die festen Begrenzungswände und durch die eingeschlossene Luftmasse. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Töne in umgekehrtem Verhältnisse der Quadratwurzel der Dichtigkeit des Körpers, den sie durchsetzen, steht, so müssen die Wellen rascher durch die Holzwände als durch die Luftsäule gehen. Dieser Umstand erzeugt keine Störung, weil schon die Secundengeschwindigkeit des Tones in der Luft 330,8 bis 333,7 Meter bei 0° C. beträgt, es folglich bei der Kürze des Stethoskopes keinen für unser Ohr merklichen Unterschied erzeugt, wenn sich auch der Schall 10,7 Mal schneller im Eichenholze oder 18,0 Mal rascher im Tannenholze fortpflanzt. Die Wände können die Tönung auf dem Wege der Resonanz, also durch Mitschwingen verstärken. Der Eigenton, den sie selbst bei dem Anschlagen geben, muss dann mit

Gewährt der Gebrauch desselben merkliche Vortheile besonders für die Erkenntniss schwacher Geräusche, so liegt wahrscheinlich ein

dem durchgeleiteten Tone in Einklang stehen. Maupertuis (s. Gehler's phys. Wörterb. Bd. VIII. Abth. 1. Leipzig 1836. 8. S. 275. 276) kam desshalb schon auf den Gedanken, dass man Hölzer zu Resonanzböden nehmen solle, deren Fasern ungleiche Längen besitzen, damit sich immer eine gewisse Summe derselben vorfände, deren Eigenton dem anregenden Tone entspricht — ein Gedanke, der später auch auf die Fasern des Trommelfelles oder die Corti'schen Fasern der Schnecke unserer Gehörwerkzeuge übertragen worden. (Siehe Phys. Path. der Nerven. Abth. II. S. 110.) Man sieht hieraus, dass die Wahl des Holzes, aus dem man das Hörrohr fertigt, nicht gleichgültig ist. Man wird, wie in den Resonanzböden der Violine, vorzugsweise darauf sehen müssen, dass das Holz vollkommen trocken sei, ehe man es verarbeitet.

Der Schall erschüttert die untere kegelförmige Luftsäule mit einer gewissen lebendigen Kraft. Diese theilt sich dann der cylindrischen Luftsäule (abgesehen von dem Verluste durch Abgabe an die Wandmasse) mit. Hat die zweite Säule eine kleinere Masse als die erste, so nimmt dann das Quadrat der Geschwindigkeit der Ausweichung der Theilchen uud mit ihm die Stärke des Tones in gleichem Verhältnisse zu. Hieraus folgt, dass der cylindrische Theil des Hörrohres weder zu lang noch zu weit sein darf. Legt man das Ohr unmittelbar an die Brustwand, so gebraucht man gleichsam ein Stethoskop mit dem erweiterten Eingangsraume der Aushöhlung der äusseren Ohrmuschel und dem nicht zu langen Cylinder des äusseren Gehörganges. Kann man aber jene nicht allseitig schliessend anfügen, so wird das Stethoskop mehr als das blosse Ohr nützen, wenn es diese Bedingung besser erfüllt. Der Druck des ersteren ist auch im Stande Hindernisse zu erzeugen, die eigene Tönungen bedingen oder die schon vorhandenen durch Resonanz zu verstärken. Eine Reihe verschieden abgestimmter Helmholtz'scher Resonatoren von Glas oder Metall (H. Helmholtz, Die Lehre von den Tonempfindungen. Zweite Ausgabe. Braunschweig 1865. 8. S. 74) könnte die ihren Eigentönen entsprechenden Töne stärker erschallen lassen.

Mag ein Geräusch, an welchem Orte der Brust es wolle, entstehen, so dürfen wir die Verhältnisse für die stethoskopische Untersuchung so ansehen, als wenn die Tonquelle da läge, wo wir das Stethoskop aufstemmen oder das Ohr anlegen, vorausgesetzt, dass man von den auf dem Zwischenwege vorgekommenen Aenderungen der Tonhöhe und des Klanges absieht. Man muss daher die Schallstrahlen betrachten, als wenn sie von jedem Punkte der auscultirten Oberfläche divergirten. Die vortheilhafteste Einrichtung eines Stethoskopes würde daher mit der eines Sprachrohres der Thurmwächter, nicht aber mit der eines Hörrohres für Taube, wenn diese ferne Töne hören sollen, übereinstimmen, weil dann die Schallwellen aus einem Abstande ankommen, bei dem man sie als nahezu parallel annehmen darf. Lambert (Mém. de l'Acad. de Berlin. 1763. Berlin 1770. 4. p. 119) zeigte schon, dass ein solches Hörrohr für Uebelhörige am Besten die Form eines Paraboloids hätte, weil die der Achse parallelen Strahlen in dem gemeinschaftlichen Brennpunkte aller Parabeldurchschnitte gesammelt werden. Ein Sprachrohr von derselben Form dagegen, welche divergirende Strahlen aufnimmt, würde weniger nützen, als ein kegelförmiges Rohr von gleicher Länge. Es war daher kein glücklicher Griff, als Hase jene Gestalt als die beste empfahl. Nachdem Morland das Sprachrohr 1670 erfunden hatte, wollte Cassegrain die hyperbolische Form als die vorzüglichste ansehen. Die Theorie lehrt aber, dass diese Gestalt, die man zur Er-

Hauptgrund darin, dass man eine günstigere Verbindung mit dem tönenden Körper herstellen kann. Die Anwendung des Stethoskopes beruht aber sonst mehr auf gesellschaftlichen als auf wissenschaftlichen Forderungen. Wollte ich es zur Untersuchung blossgelegter Theile lebender Thiere gebrauchen, so spannte ich ein Stück Blase über die Grundfläche des trichterförmigen Abschnittes. R. König[1]) liefert ähnliche Stethoskope für die Untersuchung des Menschen. Ein metallenes Kugelstück enthält einen Einsatz, der mit zwei Kautschukhäuten versehen ist. Hat man den zwischen ihnen befindlichen Raum von einer verschliessbaren Seitenöffnung aus aufgeblasen, so dient die untere Haut, sich an die Tonquelle anzuschmiegen. Die obere nimmt die Schwingungen der dazwischen liegenden Luftsäule auf und theilt sie der darüber liegenden mit. Man kann mehrere Kautschukröhren an diesem, wie an den gewöhnlichen Stethoskopen anbringen, damit eine Reihe von Beobachtern den Ton gleichzeitig zu hören im Stande sei. Diese Einrichtung[2]) dürfte zur Controle der Schüler bei dem klinischen Unterrichte vorzugsweise nützlich werden.

§. 384. Der erste Herzton rührt von der Schlussthätigkeit der Atrioventricularklappen und der zweite von der der halbmondförmigen Taschen der Lungenschlagader und der Aorta her. Die von Rouannet[3]) zuerst entwickelte Auffassungsweise[4]) führt zu dem

läuterung der mathematischen Beziehungen der Sprachröhren zu gebrauchen pflegt (Die Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegungen flüssiger Körper. Dargestellt von L. Euler und bearbeitet von H. W. Brandes. Leipzig 1806. 8. S. 558), nicht nur keine Vortheile darbietet, sondern auch der Reinheit der Töne bedeutend schadet. Es wäre zu versuchen, ob nicht ellipsoidische Hörröhren mit engen Oeffnungen, die den auf der Achse senkrechten Ebenen der beiden Brennpunkte entsprächen, als Stethoskope mit Vortheil zu gebrauchen wären, weil sich die von einem Brennpunkte ausgehenden Strahlen in dem zweiten sammeln. Wollte man kegelförmige Hörröhren anwenden, so müsste die Länge des abgestutzten Kegels in einem bestimmten Verhältnisse zu dem Winkel, den seine Seitenflächen mit der Achse bilden, stehen. (Vgl. Lambert a. a. O. p. 111 fgg.) Ein möglichst gut und vielseitig mittönendes Material würde dann Geräusche zum Vorschein bringen, die dem Ohre bei dem Gebrauche der gewöhnlichen Stethoskope entgehen.

[1]) R. König, Catalogue des appareils d'Acoustique. Paris 1865. p. 51. Pogg. Ann. Bd. CXXII. S. 473—476.

[2]) Abbildungen solcher Vorrichtungen mit zwei Röhren, die man auch in beide Ohren zur Auscultation Fremder oder seines eigenen Herzschlages in beide Ohren einführen kann, finden sich bei E. Groux, Fissura Sterni congenita. Second Edition. Hamburg 1849. 4. Fig. III und V.

[3]) Die hierher gehörende Stelle aus Rouannet's Dissertation: Analyse des bruits du coeur. Paris 1832. 4. findet sich wiedergegeben bei Raciborski, Manuel complet d'auscultation et de percussion. Bruxelles 1835. 16. p. 173. 174.

[4]) Es wäre nach dem gegenwärtigen Stande des Wissens überflüssig, auf andere zur

Schlusse, dass man beide Herztöne als Ventiltöne betrachten muss. Hat man die Brusthöhle eines Säugethieres geöffnet und unterhält die künstliche Athmung oder nicht, so lehrt die Auscultation, dass der erste Herzton ungefähr gleichzeitig mit dem Herzstosse, also während der Kammerverkürzung (§. 372), gehört wird. Der zweite dagegen fällt mit der Erschlaffung derselben zusammen. Kein irgend bedeutender Zeitzwischenraum schaltet sich zwischen jenem und diesem ein. Man hat desshalb auch die Reihenfolge beider mit der eines Vor- und Nachschlages der musikalischen Noten verglichen. Eine merkliche Pause (§. 349) dagegen drängt sich zwischen den zweiten Herzton und den nachfolgenden ersten ein. So leicht man erkennt, dass der zweite Ton höher als der erste ist, so schwer fällt es in der Regel, das Nähere zu bestimmen. KÜCHENMEISTER fand, dass der erste Ton zwischen dis und g und der zweite zwischen fis und b liegt. Ein Componist, der die Töne meines Herzens mit denen eines Claviers unmittelbar verglich, erklärte sie für g und a. Ein Musiklehrer, der dieselbe Untersuchung einige Jahre später an mir vornahm, verlegte den ersten Ton zwischen d und e und den zweiten in g. Die Höhe, der Klang und die Stärke der Töne wird überhaupt mit den elastischen Eigenschaften und der Spannung der schwingenden Theile, so wie mit der Grösse des Stosses und selbst den Nebenbedingungen der Fortleitung wechseln.

§. 385. Die Tonhöhe nimmt mit der auf die Zeiteinheit kommenden Zahl der Schwingungen zu. Denkt man sich eine kreisförmige und allseitig gleich gespannte Haut, so wächst, der Theorie nach, die Menge von Schwingungen, die ihrem Grundtone entspricht, mit der Quadratwurzel des nach allen Richtungen gleichen Spannungsgewichtes und umgekehrt wie der Durchmesser der Kreisfläche und die Quadratwurzel der Dichtigkeit ihrer Masse. Eine ähnliche Norm gilt wahrscheinlich näherungsweise für die nicht kreisförmigen und rein häutigen Theile der Ventile unseres Herzens. Der Unterschied der Quadratwurzeln der Dichtigkeiten der Atrioventricularklappen mit ihren Stützsehnen und der der halbmondförmigen Klappen ist keinesfalls so gross, dass er allein die Höhenverschiedenheit der beiden Herztöne erklärte. Die Spannung der Atrioventricularklappen wird durch das zurückgeworfene Blut ursprünglich erzeugt

Erklärung der Herztöne aufgestellte, meist unphysikalische oder unphysiologische Ansichten einzugehen. Das Geschichtliche findet sich bei SPRING a. a. O. p. 120—134 und in den meisten allgemeinen Werken über Herzkrankheiten und Auscultation.

und durch die Kammerzusammenziehung erhalten und allmälig vergrössert. Die der halbmondförmigen Taschen dagegen geht aus dem Drucke hervor, mit dem die elastische Rückwirkung der Schlagaderwände auf die eingeschlossene Blutsäule wirkt. Hieraus folgt, dass die Grundtöne der beiden Arten von Ventilen im Laufe der Zeit wechseln und zwar wahrscheinlich der der Atrioventricularklappen bedeutendere Aenderungen als der der halbmondförmigen Taschen erleiden wird. Der Gang der Veränderung fällt in beiden entgegengesetzt aus, weil die Spannung der venösen Klappen im Laufe der Zusammenziehung der Kammern zu- und die der arteriellen während der Erweiterung derselben abnimmt. Der erste Ton wird daher allmälig höher und der zweite tiefer. Die kurze Dauer eines jeden von ihnen macht in der Regel diesen Unterschied unmerklich. Er erschwert aber auch die Bestimmung, welcher Tonhöhe jeder Herzton entspricht. Bleibt die Stärke der auf einander folgenden Herzschläge gleich, so lässt sich erwarten, dass die Spannungsgrösse der Atrioventricularklappen beträchtlicher als die der halbmondförmigen Taschen ausfällt. Geben aber diese dessenungeachtet einen höheren Grundton, so muss ihr kleinerer Durchmesser und vielleicht auch ihre Massenbeschaffenheit allen übrigen erwähnten Einflüssen gegenüber entscheidend eingreifen.

§. 386. Hat man zwei ähnlich gestaltete tönende Körper von vollkommen gleicher Molecularbeschaffenheit, so ergibt der Satz der akustischen Aehnlichkeit, dass sich die Höhen ihres Grundtones umgekehrt wie ihre entsprechenden Durchmesser unter sonst gleichen Nebenbedingungen verhalten. Liesse sich dieses auf das Herz anwenden, so müsste es höhere Töne bei grösserer Kleinheit liefern, wenn nicht die Molecularbeschaffenheit der Klappen und die Drucke, die den anregenden Stoss erzeugen, verändernd eingreifen.

§. 387. Sind tiefe Töne von umfangreicheren schwingenden Massen erzeugt worden, so liefern sie einen stärkeren, aber weniger nachklingenden Eindruck, als hohe. Tönungen dagegen, die aus einer einmaligen Erschütterung eines kleinen Körpers entstanden, klingen schnell ab und zwar tiefere rascher als höhere [1]). Wird dessenungeachtet der erste Ton nicht nur stärker, sondern auch

---

[1]) Siehe z. B. ZAMMINER bei E. SEITZ, Die Auscultation und Percussion der Respirationsorgane. Nebst einer theoretisch physikalischen Einleitung von F. ZAMMINER. Erlangen 1860. 8. S. 8. 9.

länger gehört, wie man sich am Besten an dem blossgelegten Herzen lebender Thiere überzeugt, so liegt wahrscheinlich die Ursache in dem kräftigeren Stosse und dem langsameren Verluste an lebendiger Kraft, den die ausgiebigeren Schwingungen der Atrioventricularklappen erleiden. Aendern die Ernährungserscheinungen die Molecularbeschaffenheit der Ventilhäute, so können auch demgemäss die Höhe, der Klang, die Stärke und die Dauer der Herztöne wechseln. Wie aber fortgesetzte Erschütterungen das Gefüge des Eisens oder des Stahles oder das einer neu eingesetzten Saite nach und nach für die Erzeugung reiner Töne günstiger machen, so wiederholt sich vielleicht das Gleiche für die Herzklappen. Es ereignet sich daher oft, dass ungewöhnliche Herztöne mit der Zeit von selbst verschwinden.

§. 388. Pflanzt sich ein Schall in einem gleichartigen Mittel nach allen Seiten hin gleichmässig fort, so verkleinert sich die Stärke desselben mit dem Quadrate der Entfernung. Sie hängt aber von der lebendigen Kraft des Stosses, der die Schwingungen erzeugte, überall ab. Da diese dem Producte der stossenden Masse und des Quadrates der Geschwindigkeit gleicht (§. 127), so ändert sich auch die Stärke in geradem Verhältnisse der Dichtigkeit und in quadratischem der Ausweichungen der Theilchen, welche dem ursprünglich schwingenden Körper angehören. Geht eine solche Tönung aus einem Mittel in ein anderes über, so soll kein Intensitätsverlust einer annähernden Theorie nach stattfinden, wenn beide akustisch gleichartig sind oder das Product der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles und der Dichte einen und denselben Werth für jedes von ihnen hat [1]). Ist dieses nicht der Fall, so wächst der Intensitätsverlust mit der Grösse jenes Unterschiedes. Die Herztöne klingen desshalb auch am Schwächsten, wenn sich mit Luft gefüllte Körper, wie die Lungen, zwischen dem Herzen und der Brustwand einschieben. Da aber die Weichgebilde und die flüssigen Theile des Körpers die wirksame lebendige Kraft ihrer Nachgiebigkeit wegen ebenfalls verkleinern, so erklärt es sich, wesshalb die Herztöne eines Thieres, dessen Herz man blossgelegt hat, stärker erscheinen, wenn man das Hörrohr unmittelbar auf das Herz setzt, als wenn man die mit ihren Weichgebilden versehenen Brustwände in möglichst natürlicher Lage dazwischen geschoben hat. Man darf übrigens nicht glauben, dass man die Töne in allen Fällen

---

[1]) Eine Reihe solcher Werthe siehe z. B. bei ZAMMINER a. a. O. S. 11.

wesentlich besser hört, wenn man das Hörrohr auf eine Rippe, als wenn man es auf einen Zwischenrippenraum stellt, weil sich immer noch Bindegewebe und andere mit Flüssigkeiten abwechselnde Festgebilde zwischen jener und der dichten Herzmasse einschalten.

§. 389. Die genauere Beobachtung lehrt, dass stets eine gewisse Summe von Herztönen gleichzeitig erzeugt wird und sich überdies noch eine Anzahl anderer Tönungen, die wir mit dem Namen der Nebengeräusche bezeichnen wollen, hinzugesellt. Die Theorie gibt hierbei Manches an, das eine vorurtheilsfreie Auscultation näher erläutern kann.

§. 390. Entsteht der erste Ton durch die Thätigkeit der Atrioventricularklappen, so folgt zunächst, dass man zwei nahezu gleichzeitige Töne hat, von denen der eine von der dreizipfeligen und der andere von der zweizipfeligen Klappe herrührt. Die Höhe und die Stärke beider muss ungleich ausfallen, wenn die Spannung der Häute und die Grösse des ersten Anstosses des Blutes in beiden Kammern abweichen. Wir hören aber nur einen Ton im gesunden Menschen, weil die zwei Atrioventriculartöne der Zeit nach zusammenfallen und der Unterschied ihrer akustischen Eigenthümlichkeiten verhältnissmässig zu klein für unser Auffassungsvermögen bleibt. Vergrössert er sich aber bei einem einseitigen Klappenfehler, so erkennt man auch zwei nahezu gleichzeitige Töne statt eines. Dasselbe wiederholt sich für den zweiten Ton unter ähnlichen Bedingungen. Man hat hier wiederum einen von den halbmondförmigen Klappen der Lungenschlagader und einen zweiten von denen der Aorta. Das Herz erzeugt also im Ganzen vier und nicht zwei Ventiltöne.

§. 391. Dreierlei Gebilde können dabei in Schwingungen verfallen, wenn die Atrioventricularklappen den ersten Ton liefern, die häutigen Zipfel dieser Ventile, die Stützsehnen, die sich an ihrer Unterfläche verbreiten und die Sehnen, die zu ihnen von den Warzenmuskeln oder den Kammerwänden gehen. Alle diese Theile gehören zu den sogenannten weich elastischen Körpern, die durch Stösse in Beugungswellen mit oder ohne Verdichtungswellen verfallen, wenn sie hinreichend gespannt in einem Mittel liegen, dessen Widerstand ihre Ausweichungen nicht hindert. Zerlegt man ihre Bewegungen in Längs- und Querschwingungen, so beruht dieses auf einer künstlichen Betrachtungsweise ähnlich der, welche das Parallelogramm der Kräfte an die Hand gibt [1]).

[1]) Dieser Ausspruch scheint der Thatsache zu widerstreiten, dass man nicht selten

§. 392. Man kann die Häute und die Sehnen mit einer Anhäufung von Saiten oder Fäden vergleichen. Die Bewegung der Theilchen, die den Querschwingungen der Beugungswellen entspricht,

---

nur eine Art von Schwingungen hört oder beide gleichzeitig neben einander erklingen. Eine genauere Betrachtung führt jedoch zu einer anderen Anschauungsweise.

Man pflegt die von Huyghens (Opera reliqua. Vol. I. Amstelodami 1728. 4. p. 17) hervorgehobene gegenseitige Durchdringung oder, wie man es später nannte, den Grundsatz der Ueberlagerung oder der Superposition der kleinsten Bewegungen mit der von Dan. Bernoulli (Hist. de l'Acad. de Berlin. 1753. Berlin 1755. 4. p. 147—172 und 173—195 und Novi Commentarii Petrop. Tom. XXIX. 1774. Petropoli 1775. 4. p. 239—259) zuerst gefundenen Gleichzeitigkeit oder Coëxistenz verschiedenartiger Schwingungen zusammenzuwerfen, obgleich schon Poisson (Mécanique. Tome II. p. 444) die Nothwendigkeit einer scharfen Trennung beider mit Recht hervorgehoben hat. Diese Scheidung hat auch eine gewisse Bedeutung für die Physiologie, weil jeder der beiden Grundsätze eine besondere Anwendung auf die Thätigkeit unserer Gehörwerkzeuge gestattet.

Sind die Ortsverrückungen so klein, dass man die höheren Potenzen ihrer Werthe ohne merklichen Fehler vernachlässigen kann, so gilt der Huyghens'sche Grundsatz, dass die Gesammtbewegung der Summe des Anfangswerthes der Ortsverrückung ohne die Wirkung neuer Kräfte und der Einzelwerthe der durch diese letzteren erzeugten Bewegungsgrössen ohne anfängliche Verrückung und Geschwindigkeit gleicht. Eine Anzahl verschiedener Bewegungsgrössen lagert sich gleichsam in dem betrachteten Punkte über einander. Wenn die Schallwellen eines Grundtones die Stösse des Vorhofswassers gegen die Fasern des Hörnerven ein erstes Mal erzeugt haben, sich dann durch die halbcirkelförmigen Kanäle fortpflanzen und hierauf dieselben oder andere Hörnervenfasern zum zweiten Male stossen und sich dieses später mit abnehmender Intensität wiederholt, so erzeugt die Ueberlagerung der Bewegungen eine stärkere Einheitsempfindung. Die Verstärkung eines Grundtones durch die gleichzeitig erklingenden Octaven kann als Wirkung einer solchen Ueberlagerung in unserem Gehörwerkzeuge angesehen werden.

Der Bernoulli'sche Grundsatz bezieht sich auf die Thatsache, dass ein tönender Körper, z. B. eine gespannte Saite, nicht bloss den Grundton, sondern auch zugleich eine Reihe von höheren Theiltönen erklingen lässt. Man kann überhaupt die Gesammtschwingung eines Systemes von Punkten so auffassen, als sei sie aus der Zusammensetzung aller einfachen, dem Systeme möglichen Schwingungen hervorgegangen. Dieses wird gewöhnlich so dargestellt, als wären die Theilschwingungen der Saite rein und ohne gegenseitige Störung vorhanden. Allein schon Dan. Bernoulli (Hist. de l'Acad. de Berlin. 1753. p. 153) suchte das wahre Verhältniss graphisch zu versinnlichen. (Ueber die entgegenstehende Angabe von Duhamel s. Seebeck in Dove's Repertorium der Physik. Bd. VI. Berlin 1842. 8. S. 16. 17. Vgl. auch Bd. VIII. 1849. S. 3—5 u. 27—32.) Die Zusammensetzung der ganzen Schwingung und der Theilschwingungen erzeugt nämlich eine einzige neue und eigenthümliche Schwingungsform, wie die Störung anderer anziehender Körper die elliptische Bahn eines Planeten zu einer anderen Curve umgestaltet. Ein Körper, der in Schwingung versetzt wird, bietet wahrscheinlich immer Gestaltänderungen dar, die aus der Vereinigung von Längs-, von Quer- und von drehenden Schwingungen hervorgehen. (Ueber Savart's Versuche s. Seebeck a. a. O. S. 60—68.) Die eine oder die andere Art von Bewegungen herrscht aber je nach den gegebenen Bedin-

steht auf der Fläche der Haut senkrecht. Die der Längenschwingungen verläuft in ihrer Ebene. Die für die Schwingungszahlen angenommenen Formeln gelten ursprünglich nur für unendlich dünne und überall gleichartige Fäden. Wie man aber die Gleichungen der linearen Flüssigkeitsbewegung durch die Annahme des Parallelismus der Schichten (§. 146) auf endliche Flüssigkeitsmassen näherungsweise überträgt, so wendet man auch jene Schwingungsgleichungen auf Cylinder oder Stäbe von endlichem Querschnitte an, indem man sich vorstellt, alle ihre Fadenelemente seien unter einander gleich, sie störten einander nicht in ihren Bewegungen und die gleichzeitige Krümmung des Ganzen und deren Einfluss auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit könne unbeachtet bleiben. Man sagt in diesem Sinne, dass die Zahl der Querschwingungen, die für den Ton einer Saite vor Allem in Betracht kommt, in umgekehrtem Verhältnisse der Länge, der Dicke und der Quadratwurzel der Eigenschwere derselben und in geradem der Quadratwurzel des Gewichtes steht, das die Spannung wirklich erzeugt oder auf das man die Grösse derselben in der Rechnung zurückführen kann. Die Menge der Längenschwingungen wächst umgekehrt wie die Länge und die Eigenschwere der Saite und soll theoretisch genommen von dem Querschnitte derselben unabhängig sein. Man pflegt übrigens nur die Querschwingungen für die Saiteninstrumente zu benutzen. Längenschwingungen können insofern im thierischen Körper in Betracht kommen, als sich nach SAVART Querschwingungen in jene umsetzen, wenn eine senkrecht stehende und unmittelbar verbundene cylindrische Masse mittönt.

§. 393. Die Höhe und der Klang der beiden Herztöne wechseln hiernach nicht bloss mit der Beschaffenheit und der Spannungsgrösse der Klappen, sondern auch der Stützsehnen, der Sehnen der Warzenmuskeln und der Wände der Lungenschlagader und der Aorta. Man hat, wie man sieht, eine Summe von Bestimmungs-

---

gungen vor, so dass z. B. eine hinreichend grosse lebendige Kraft nur für eine Art von Klangfiguren vorhanden ist. Unser Ohr besitzt die Fähigkeit, die einzelnen Töne eines Accordes herauszuhören (vgl. SEEBECK a. a. O. S. 3. 4) oder die verschiedenen Beitöne oder Theiltöne einer Saite von dem Grundtone durch den blossen Einfluss der Aufmerksamkeit zu trennen. Es kann daher auch z. B. die Schwingungen eines tönenden Körpers in Längs- und in Querschwingungen zerlegen und beide neben einander gleichzeitig vernehmen. Ein Verfahren, die Schwingungen einer Saite durch sein auf dem Lissajons'schen Grundsatze beruhendes Vibrationsmikroskop sichtbar zu machen, gibt HELMHOLTZ, Tonempfindungen. Zweite Ausgabe. S. 137—146.

gliedern, deren einzelne Einflüsse sich kaum je werden mathematisch feststellen lassen und die sich auch wahrscheinlich wiederum während der Dauer eines und desselben Herztones ändern. Die Krankheitsbeobachtung würde hier mehr als alle anderen Untersuchungsarten leisten, wenn sie den zeitlichen Wechsel der Herztöne bei bloss örtlichen Entartungen eines der genannten Bedingungsglieder genauer verfolgen wollte. Sollten krankhafte Veränderungen den Elasticitätscoëfficienten der schwingenden Theile vergrössern oder dieselben dichter machen, so liesse sich erwarten, dass sich hierdurch die Tönung vertiefen wird.

§. 394. Die Klappen können nicht eher tönen, als bis sie in dem nöthigen Grade gespannt worden. Wir haben §. 367 gesehen, dass häufig die Atrioventricularklappen geschlossen werden, ehe die Zusammenziehung der Kammer beginnt. Man wird also den Anfang des ersten Herztones bei oder selbst vor dem Beginnen der Verkürzung hören. Es fiel schon einzelnen früheren Forschern [1]) auf, dass er zuerst anders als der übrige Theil des Herztones klingt. Spring [2]) nimmt an, dass dieses von einem eigenen praesystolischen Tone herrührt, dem der systolische unmittelbar nachfolgt. Die plötzliche, durch die Verkürzung der Warzenmuskeln erzeugte Spannung und Ortsveränderung der Klappen soll jenen und der Stoss des Blutes gegen die nach den Atrioventricularmündungen getriebenen und noch schwingenden Ventile diesen bedingen. Es dürfte nach dem §. 384 Erläuterten wahrscheinlicher sein, dass der Stoss des Blutes, der den Klappenschluss herbeiführt, den Anfang des ersten Tones anders erklingen lässt, als die Nachschwingungen, die während der Kammerzusammenziehung anhalten und nicht bloss ihrer Stärke, sondern auch ihrer Höhe nach allmälig wechseln (§. 387).

§. 395. Kann auf diese Art der erste Herzton vor dem Anfange der Kammerzusammenziehung beginnen, so wird der zweite erst einen Augenblick nach dem Ende derselben auftreten, weil eine gewisse Zeit zwischen der ersten elastischen Rückwirkung der Schlagaderwände und dem Schlusse der halbmondförmigen Taschen verstreicht. Dieses führt zu dem Schlusse, dass sich eine Pause des Tonmangels zwischen beiden Herztönen in der Wirklichkeit einschaltet. Scheinen sie dessenungeachtet auf einander unmittelbar zu

---

1) Spring a. a. O. p. 131—134.

2) Spring a. a. O. p. 127 und 135.

folgen (§. 384), so lässt sich dieses durch die Annahme erklären, dass die Nachwirkung des Gehöreindruckes die Zwischenpause der Tonlosigkeit an Zeitdauer übertrifft.

§. 396. Die grössere Stärke und die längere Hörbarkeit des ersten Tones bedingen es, dass man ihn noch erkennt, wenn schon der zweite Ton unmerklich geworden. Man hat diesen Fall während des Todeskampfes z. B. in Folge grosser Blutverluste. Klopft das rechte Herz länger als das linke, so kann man sich bei der Auscultation der entsprechenden Bezirke der Brust überzeugen, dass der erste Herzton der dreizipfeligen Klappe länger als der der zweizipfeligen und vorzugsweise, dass der zweite Ton der Lungenschlagader länger als der der Aorta dauert[1]).

§. 397. Der Mangel an scharfen Begriffsbestimmungen, was man unter den Namen des metallischen, des blasenden, brummenden, schwirrenden, klirrenden oder pfeifenden Tönens verstehen soll, hat wahrscheinlich oft genug zu abweichenden Bezeichnungen eines und desselben krankhaften Herzgeräusches geführt. Man kann den metallischen Charakter dahin bestimmen, dass der Ton rein erscheint und langsam und rein abklingt. Er wird daher auch in den Tonbildungen des Herzens selten bemerkt. Das Blasegeräusch erzeugt sich nicht bloss bei dem Durchgange einer gasförmigen, sondern auch bei dem einer tropfbar flüssigen Masse durch eine enge Ausflussöffnung, wenn dabei diese und die Wände unregelmässig schwingen, so dass sich gar keine deutliche musikalische Tönung beimengt. Ist das Letztere der Fall, so hat man ein Brummen oder Brausen bei tiefen, ein Reiben bei undeutlichen mittelhohen, ein Knistern bei einzelnen augenblicklichen, ein Schwirren bei verhältnissmässig weniger kräftigen, ein Klirren bei nachdrücklicheren harten und ein Pfeifen bei reineren hohen Tönen. Dieses ergibt das für die Beurtheilung der gesunden oder der krankhaften Nebengeräusche gültige Hauptprincip, dass alle genannten Tönungen mit Ausnahme der metallischen eine verhältnissmässige Verengerung der Durchflussöffnung durch schwingungsfähige Theile voraussetzen.

§. 398. Erzeugt ein Körper einen Grundton, indem er im Ganzen schwingt, so können seine gleichzeitigen Theilschwingungen noch eine Reihe höherer Beitöne oder Obertöne hervorrufen

---

[1]) J. Nega a. a. O. S. 11. 12.

(§. 384). Der Klang, den SEEBECK[1]) von den untergeordneten Formverschiedenheiten der Schallwellen herleitete, entsteht nach OHM und HELMHOLTZ[2]) dadurch, dass wir die Beitöne und den Grundton zu einer Gesammtempfindung verbinden[3]). Da die Theile, deren Schwingungen die Herztöne bedingen, ungleiche Werthe des Elasticitätsmoduls und der Spannungen an ihren verschiedenen Stellen haben, so besteht das, was man hier Klang nennt, in der Summirung einer Reihe verschiedener Tönungen, von denen keine die Regelmässigkeit eines musikalischen Tones besitzt und sich die meisten sogar als Geräusche dem Ohre unmittelbar verrathen.

§. 399. Die wichtigste Schwingungsart, die sich den regelrechten Herztönen beigesellt, rührt von dem Muskelgeräusche her, das die Zusammenziehung des Herzens begleitet. Die Verkürzung eines jeden Muskels erzeugt einen tiefen und schwachen Grundton [von 14 bis 36 Schwingungen in der Secunde[4])], dem sich höhere und stärkere Brausegeräusche beimengen. Die Verkürzung der Vorhöfe wird daher eine und die der Kammern eine zweite Doppeltönung der Art bedingen. Diese fällt mit dem grössten Theile des ersten Tones zusammen. Sie kann den Klang desselben ändern, wenn sie von dem ersten Herztone wesentlich abweicht, aber anderseits zu schwach ist, um gesondert erkannt zu werden. Die geringe Stärke des Muskelgeräusches der Vorhöfe erklärt es, wesshalb man dasselbe nicht hört, wenn man selbst das Ohr an diejenigen Stellen der Brustwand legt, hinter denen sich die Vorkammern, vorzugsweise die rechte, befinden. Es müsste kurz nach dem Beginne des zweiten Tones vernommen werden. Da die Zusammenziehung des Zwerchfelles und der Zwischenrippenmuskeln eigene Muskelgeräusche erzeugt, so müssten die Herztöne während

---

[1]) SEEBECK in Dove's Repertorium. Bd. VIII. Berlin 1849. S. 1—27.

[2]) H. HELMHOLTZ, Die Lehre von den Tonempfindungen. Zweite Ausgabe. Braunschweig 1865. 8. S. 97.

[3]) Berücksichtigt man, was §. 384 Anmerk. 1 über die Curvenform der schwingenden Körper wegen der Coëxistenz der kleinen Bewegungen gesagt worden, so werden die Beitöne immer eine verwickeltere Gestalt, die mit der Masse des tönenden Körpers wechseln kann und daher auch einen verschiedenen Klang bedingt, erzeugen. Einige Bedenken gegen die mathematische Auffassung des Klanges als Einheitsempfindung des Grundtones und der Beitöne nach der Lagrange-Fourier'schen Reihe äussert RÖBER, Die Fortschritte der Physik im J. 1859. Berlin 1861. S. S. 173 und 1861. Berlin 1863. S. 155. Vgl. auch schon SEEBECK in Dove's Repertorium Bd. VIII. Berlin 1849. S. S. 1—27.

[4]) S. HAUGHTON, Outlines of a new Theory of Muscular Action. London 1863. S. p. 2—7. HELMHOLTZ in Reichert und du Bois' Arch. 1864. S. 767.

der Einathmung anders als während der Ausathmung erklingen, wenn unser Ohr fein genug hörte.

§. 400. Die Wände der Schlagadern und die aller gespannten Röhren und Behälter überhaupt könnten möglicherweise Wandgeräusche bedingen, so wie sie ein äusserer Stoss in tönende Schwingungen versetzt oder indem die Bewegung ihres Inhaltes das Gleiche bewirkt. Der zweite Fall wird verschiedene Ergebnisse liefern, je nachdem das Rohr eine elastische oder eine tropfbare Flüssigkeit enthält, weil die bedeutendere Zusammendrückbarkeit von jener grössere Molecularänderungen während und nach dem Drucke gestattet. Die Schwingungen elastischer Röhrenwände, die ein tropfbar flüssiger Inhalt spannt, führen um so leichter zu hörbaren Tönungen, je mehr Unebenheiten an der Innenfläche des Rohres vorhanden sind. Die Schnelligkeit der Bewegung, die grössere Eigenschwere und die geringere Zähflüssigkeit des Inhaltes, die Nachgiebigkeit und die Elasticität der Wände, die plötzliche Aenderung des Querprofils des Flussbettes und die Stärke des Stosses greifen als Begünstigungsmittel ein. Die grossen in der Nähe des Herzens befindlichen Schlagadern können daher vielleicht schwingen, wenn sie sich nach dem Beginne der Zusammenziehung der Kammer plötzlich dehnen, nach dem Anfange der Erschlaffung rasch und stark zusammenziehen und sogleich einen Rückstoss unmittelbar nach dem Schlusse der halbmondförmigen Klappen erhalten. Der Uebergang des Blutes aus der Kammerhöhle in Schlagadern wirkt wahrscheinlich für die Tönung ungünstiger, weil diese nach Versuchen, die Th. Weber mit Kautschukröhren und Wasser anstellte, stärker ausfällt, wenn sich das Flussbett plötzlich erweitert, als wenn es sich rasch verengert. So wie dagegen krankhafte Entartungen die Reibung erhöhen, vernimmt man Blase-, Knister- oder Reibungsgeräusche (§. 397), je nach der verschiedenen Beschaffenheit der angestossenen Massen.

§. 401. Hat auch die Schlüpfrigkeit des Herzbeutelwassers zur Folge, dass einzelne Theile des Herzens ihre Stellung leicht und rasch ändern, so wird sich doch dabei immer ein leises Reibungsgeräusch erzeugen. Man hört es in gewöhnlichen Fällen nicht, vernimmt es aber um so leichter, je stärkere Reibungshindernisse krankhafte Ausschwitzungen entgegensetzen.

§. 402. Die Erschütterung, die der Herzstoss nach sich zieht, kann ebenfalls ein Nebengeräusch bedingen. Gelingt es, die Lebhaftigkeit des Herzschlages eines frisch getödteten Säugethieres durch

die künstliche Athmung zu unterhalten, so überzeugt man sich, dass die Entfernung des vorliegenden Theiles der Brustwand die Herztöne nicht auffallend stört, dass sich also das Nebengeräusch des Herzstosses nur in untergeordnetem Grade geltend macht. Dasselbe wiederholt sich für die schwache Tönung, welche die mit der Zusammenziehung und der Erweiterung der Vorhöfe und der Kammern wechselnde Verziehung des Herzbeutels (§. 356) bedingt.

§. 403. Der Unterschied, den die Physik zwischen allseitiger und einseitiger Fortpflanzung der Töne nach den Erfahrungsergebnissen macht, rührt von der grösseren oder der geringeren Leichtigkeit, mit der sich die Töne Nachbarmassen mittheilen, her. Eine Erschütterung verbreitet sich in einem vollkommen gleichartigen und daher auch nicht akustisch doppeltbrechenden Mittel nach allen Seiten hin mit derselben Geschwindigkeit, also in Kugelwellen. Da aber die Flächen, in welchen die in Bewegung gesetzten Molecüle liegen, wie die Quadrate der Halbmesser wachsen (§. 388), so folgt aus dem Satze der Erhaltung der lebendigen Kraft (§. 127), dass die Schallstärke in umgekehrtem Verhältnisse des Quadrates der Entfernung steht. Die mit ungleichen Achsen versehenen Krystalle liefern ungleich grosse Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichtes, des Schalles und der Wärme nach verschiedenen, mit diesen physikalischen Einwirkungen wechselnden Hauptrichtungen, weil ihre Molecüle in der einen dichter als in der anderen zusammenliegen. Die Entwickelungsverhältnisse bedingen es, dass sich die ungleiche, aber regelmässige Vertheilung derselben nach den mannigfachen Raumesrichtungen in allen Thiergeweben mit Ausnahme der Blutkörperchen und der Ganglienkugeln wiederholt und sie daher das Licht doppelt brechen und die Wärme mit anderer Geschwindigkeit der Länge, als der Quere nach leiten. Dasselbe gilt wahrscheinlich auch für die Schallwellen, die sie durchsetzen. Ihre Wellenfläche muss daher der eines dreiachsigen Ellipsoides im allgemeinsten, oder der eines Umdrehungsellipsoides im einfachsten Falle entsprechen. Nicht nur die für die Auscultationsverhältnisse zu vernachlässigende Fortpflanzungsgeschwindigkeit, sondern auch die Stärke des weiter getragenen Schalles (§. 387) wechselt vermuthlich mit den verschiedenen Richtungen. Dazu kommt noch, dass zusammengezogene Muskeln stärker gespannt sind und ihre Sehnen oder andere mit ihnen verbundene Theile straffer anziehen. Sie werden diejenigen Töne am Leichtesten aufnehmen, die mit ihnen im Einklang stehen und andere um so

weniger gut fortpflanzen, je weiter sie von dieser Bedingung entfernt sind. Die hier geltenden Hauptgesetze kehren im Wesentlichen für elastische Häute, wie die Arterienwände und für elastische Stäbe, wie die Rippenknorpel, in gleicher Art wieder[1]). Die Bedingungen der Hörbarkeit der Auscultationstöne lassen sich nach ihnen, wenigstens näherungsweise, theoretisch angeben.

§. 404. Wird die erschütterte Masse von einem Körper umgeben, der die Unruhe schwerer als sie selbst aufnimmt, so geht die Hauptbewegung in jener allein weiter. Man hat auf diese Weise eine einseitigere Leitung, wenn z. B. ein cylindrisches Metallrohr Luft enthält. Die Sprachröhren, die man in Werkstätten, Fabriken und Gasthöfen angebracht findet, lassen auf diese Weise die an dem einen Ende gegebenen Befehle an dem andern, nicht aber auf dem Zwischenwege hören, so lange das Metallrohr unversehrt ist. Die einseitige Fortpflanzung fehlt in unserem Körper ebenfalls nicht. Setzt man das Hörrohr auf die blossgelegte Halsschlagader eines lebenden Säugethieres, so hört man beide Herztöne. Wiederholt man denselben Versuch an dem Menschen, so vernimmt ein geübtes Ohr mindestens den zweiten Herzton und, wenn es überhaupt merk-

---

[1]) Die Theorie und die Erfahrung stimmen darin überein, dass ein gespannter Körper am Leichtesten, Stärksten und nach kurzer Zeit am Reinsten mitschwingt, wenn die Höhe des zugeführten Tones mit dem Eigentone des mitschwingenden Körpers (im luftleeren Raume) übereinstimmt. Hieran reiht sich zunächst der Fall, dass jener um eine oder mehrere Octaven höher oder tiefer liegt, also der harmonischen Ober- oder Unterreihe angehört. Das Mittönen fällt sonst um so kräftiger aus, je geringer der Unterschied der Schwingungsperioden des anregenden und des Eigentones ist. Wird er grösser, so erhält man im Allgemeinen nur ein Mitschwingen in Körpern, in denen zwei Dimensionen über die dritte bedeutend vorherrschen, also vor Allem in gespannten Häuten. Kommt ein Wellenzug von einer Seite des mittönenden Körpers heran, so wechselt nicht die Tonhöhe, wohl aber der Klang und zwar in anderer Weise für die durchgehende als für die zurückgeworfene Welle. Liegt der erregende Ton um ein Intervall höher als der Eigenton des mitschwingenden Körpers, so sind die Schwingungen von diesem eben so stark, als wenn sich jener um das gleiche Intervall tiefer bei derselben Stärke befände. Ist Luft hinter einer gespannten Haut vorhanden, so schwingt diese schon nicht merklich mit, wenn der ankommende Ton um einen halben oder einen Viertheilton tiefer ist, als der Eigenton der Haut. Kommt die Anregung von einem harmonischen Untertone, so schwingt sie nicht in diesem, sondern in ihrem eigenen höheren. Ersetzt man aber die hinter ihr befindliche Luft durch Wasser oder ein anderes stärker widerstehendes Mittel, so wird zwar das Mitschwingen schwächer. Es bewahrt aber dann eine merkliche Stärke für grössere Abweichungen des anregenden Tones von dem Eigentone. Die Breite der Empfänglichkeit unseres Trommelfelles gewinnt hierdurch in wesentlicher Weise. Siehe Seebeck in Dove's Repertorium. Bd. VIII. S. 60—64 und S. 103—106. Vgl. auch Helmholtz, Tonempfindungen. Zweite Ausgabe. S. 212—214.

lich ist, das Nebengeräusch der Schlagaderwände (§. 393). Obgleich die Blutkörperchen den Fortgang der Schallwellen oft genug durch Zurückwerfung stören, so leitet doch das Blut die von den Klappen aufgenommenen Erschütterungen besser, als die Arterienwände und die übrigen benachbarten Thiergewebe. Man unterscheidet daher die entfernten Herztöne, so wie man Bedingungen herstellt, durch die das Blut seine Schallwellen auf unser Ohr durch besser fortführende dichte und elastische Zwischenkörper übertragen kann. Die Erfahrung, dass man den Ton der halbmondförmigen Klappen der Aorta an der Grenze des zweiten rechten Zwischenrippenraumes und des Brustbeines, also in der Gegend der aufsteigenden Aorta am Besten unterscheidet, erklärt sich in ähnlicher Weise.

§. 405. Legt sich ein Lungentheil zwischen die tönenden Gebilde der Brusthöhle und die Brustwand, so schwächt sich hierdurch die Schallstärke so sehr, dass man sie oft nicht selbst unter den verhältnissmässig günstigsten Nebenbedingungen vernehmen kann. Wird eine Tönung fortgeleitet, so hängt sie nicht bloss von dem Quadrate der Verschiebungsgrösse der Molecüle, sondern auch von den elastischen Kräften und daher unter Anderem von den gegenseitigen Entfernungen derselben, also von dem Elasticitätsmodul und der Dichte der fortpflanzenden Masse ab (§. 388). Alle nicht gespannten organischen Gewebe wirken daher in dieser Hinsicht unvortheilhaft. Die Lungenluft bildet an und für sich ein ungünstiges Zwischenmittel, weil viel an Schallstärke verloren geht, wenn sie die Schallwellen aufnimmt, und noch mehr, wenn sie sie an das dichtere Lungengewebe wiederum abgibt. Ihre Erwärmung und ihre Wasserdampfsättigung vergrössern die Schädlichkeit in dieser Beziehung noch mehr, als es die den Menschen gleichzeitig umgebende äussere Atmosphäre thun würde.

§. 406. Untersucht man die Herztöne an der Stelle des Herzstosses oder in der Gegend des fünften Zwischenrippenraumes oder verfolgt man sie von dem unteren Dritttheile des Brustbeines, also von der rechten Kammer aus, so ist der zweite Ton aus doppeltem Grunde im Nachtheil[1]). Seine Ursprungsstelle liegt weiter entfernt. Da er dem ersten Zeitabschnitte der Erschlaffung der Kammern entspricht, so sind die Wände derselben nicht so sehr durch das

---

[1]) Berücksichtigt man auch den praesystolischen Ton (§. 394), so gibt die Auscultation des Spitzentheiles des Herzens den Rhythmus ◡ — ◡ und die der Grundfläche ◡ ◡́ —.

Blut gespannt, dass ihr Eigenton mit dem der Klappen in Einklang stünde (§. 403). Man bemerkt das Umgekehrte in beiderlei Beziehung, wenn man das Ohr an die Gegend der rechten oder der linken zweiten bis dritten Rippe, in der Nähe des Brustbeines oder an dieses in derselben Höhe legt, weil dann nicht nur die Entfernung des einen oder des anderen Systemes der halbmondförmigen Klappen kürzer ist, sondern auch die Fortleitung durch die zusammengezogenen Vorhofsfasern wenigstens theilweise vermittelt wird. Dieses bedingt aber auch, dass man den zweiten Ton länger hört. Die zur Zeit des ersten Tones stark ausgedehnten Vorhofswände haben wahrscheinlich einen höheren Eigenton als jener. Es ergibt sich hieraus, dass die Lehre von der Auscultation nicht berechtigt war, acht Herztöne statt vier zu unterscheiden, weil die Bedingungen für die Hörbarkeit des ersten Herztones unten und die für die Wahrnehmung des zweiten oben günstiger ausfallen. Ein selbst nicht geübtes Ohr kann übrigens die Herztöne bis zur Grenze des Halses nach oben und bis ungefähr zu einer von der Mitte der Achselhöhle senkrecht herabgezogenen Linie an den Seiten mit Deutlichkeit verfolgen.

§. 407. Da die Schallstärke, die man an den verschiedenen Stellen bemerkt, von den Zwischenkörpern wesentlich abhängt, so kann die Lage der Theile die Hörbarkeit der Tönungen nicht ausschliesslich bestimmen. Der zweite Ton, vorzugsweise der Aortenklappen, wird nicht da, wo sie sich befinden, sondern in der Gegend der aufsteigenden Aorta am Deutlichsten vernommen (§. 406). Selbst der der Lungenschlagader erklingt lauter an der Grenze des zweiten linken Zwischenrippenraumes und des Brustbeines, also in dem Bezirke der Lungenschlagader, als an der Anheftung des dritten linken Rippenknorpels an das Brustbein oder in der unmittelbaren Nähe der rechten halbmondförmigen Klappen. Man hört den ersten Herzton stärker und länger, wenn man die Gegend des Herzstosses, als wenn man den Bezirk der oberen Hälfte der linken Kammer oder des obersten Theiles der rechten untersucht, weil schon Lungenstücke in dieser Gegend dazwischen zu liegen pflegen. Solche vergleichende Untersuchungen können lehren, ob sich hier die Lungen weniger nach innen als gewöhnlich erstrecken. Athmet ein Mensch tief ein, so schiebt sich ein Theil der rechten und vorzugsweise der linken Lunge vor den Herzbeutel hinüber. Die Herztöne werden zuletzt selbst bei der unmittelbaren Anlagerung des Ohres nicht vernommen. Ihre Untersuchung kann daher auch zeigen, ob

krankhafte Verwachsungen jene Ausdehnung bei dem tiefen Einathmen hindern. Ist ein vorliegender Lungenbezirk für die Athemluft undurchgängig, so kann er möglicherweise als besserer Leiter wirken.

§. 408. Da die Fötuslungen keine Luft führen und einen kleineren Raum als nach dem Ausathmen einnehmen, so fallen auch hier die von dem Gasinhalte abhängigen Störungen fort. Das Schaafwasser, die gespannten Eihäute, die Gebärmutterwände und die Bauchdecken wirken ebenfalls auf die Schallstärke verhältnissmässig nicht ungünstig ein. Drängen sich keine mit Luft oder anderen schädlichen Massen gefüllte Darmschlingen hinter der Unterleibswand ein, so kann man die Herztöne der in dem Mutterleibe befindlichen reiferen Frucht ohne grosse Schwierigkeiten hören. Die Stelle, an der man sie am Deutlichsten vernimmt, wechselt natürlich mit der Lage des Kindes. Sie entspricht gewöhnlich dem Zwischenraume zwischen der vorderen und oberen Ecke der Darmbeinkante und dem Nabel und liegt häufiger rechts als links. Dieser Herzton bildet eines der zuverlässigsten Schwangerschaftszeichen. Er kann die Anwesenheit von Zwillings- oder Mehrlingsfrüchten überhaupt mit Sicherheit nachweisen. Sollte sich finden, dass sich der Herzschlag eines jeden von zwei Fötus innerhalb eines begrenzten Bezirkes des Unterleibes Tage oder Wochen lang erhält, so könnte dieses die Vermuthung unterstützen, dass eine zweihörnige Gebärmutter und mit ihr die Möglichkeit einer Ueberfruchtung vorliegt.

4. Erregungsursache des Herzschlages.

§. 409. Die zahlreichen, seit dritthalb Jahrhunderten angestellten Herzversuche konnten noch keine genügende Einsicht in die Grundbedingungen der periodischen Herzthätigkeit verschaffen. Da die Beziehungen derselben zu dem Nervensysteme schon in einem anderen Theile dieses Unternehmens erläutert worden [1]), so bleibt nur noch übrig, die zum Blute darzustellen. Weder die einen noch die anderen gestatten aber eine klare und sichere Auffassung der Erregungsursachen der Herzbewegung.

[1]) Versuch einer physiologischen Pathologie der Nerven. Abth. II. S. 122—131. 137. 138. 144 und 159—169. Siehe ferner J. Bernstein in Reichert und du Bois' Archiv. 1864. S. 614—666.

§. 410. Spritzt man geschlagenes Blut (§. 242) in die Pulsadern eines Gliedes eines frisch getödteten Thieres, dessen Muskeln den grössten Theil ihrer Reizbarkeit eingebüsst haben, so gewinnen diese einen hohen Grad von Empfänglichkeit wieder, weil die durchströmende Blutmasse etwa vorhandene schädliche Zersetzungsstoffe endosmotisch aufnimmt und fortspült und nützliche Ersatzverbindungen exosmotisch austreten lässt[1]). Treibt man geschlagenes Blut in ein eben still gestandenes oder noch schwach klopfendes, im Körper befindliches oder ausgeschnittenes Herz eines eben getödteten Säugethieres, so erhält man wiederum kräftige und rasche Herzschläge. Man stellt den Versuch am Besten an, wenn man ein Rohr in die Halsschlagader eines zweiten lebenden Thieres seitlich oder in der Richtung nach dem Herzen zu einführt, es mit einer Kautschukröhre und diese wiederum mit einer Canüle vereinigt, die man in die Aorta des zweiten Herzens einbindet. Die Druckpumpe des lebenden Herzens treibt dann auch Blut durch die Kranzschlagadern des zweiten. Bewährt sich auf diese Weise die belebende Eigenschaft des Blutes in beiden Fällen, so stösst man doch auf den wesentlichen Unterschied, dass sich der durch dasselbe erfrischte Extremitätenmuskel nur unter dem Einflusse äusserer Reize verkürzt, das Herz dagegen seine periodischen Bewegungen ohne diese beginnt, seine Hohlräume mögen mit Blut oder mit Luft gefüllt sein.

§. 411. Diese Erfahrungen dürfen nicht zu dem Schlusse verleiten, dass das Blut, welches die Muskelmasse des Herzens durchsetzt, die wesentliche Ursache des Herzschlages bildet. Unterbindet man die Schlagadern, die das Blut zu den Hinterbeinen eines Säugethieres führen, so hörte der Willenseinfluss auf die Muskeln derselben auf. Sie und ihre Nerven verlieren später ihre Reizbarkeit und jene verfallen zuletzt in einen Zustand, der an den der Todtenstarre erinnert. Man kann dagegen nach PANUM[2]) die Kranzschlagadern mit Wachs und die Blutadern mit Oel füllen, ohne dass der Herzschlag sogleich aufhört. Er erhielt sich dann z. B. 3½ Stunden in einem mit den Lungen ausgeschnittenen Kaninchenherzen. Das Herz eines jungen Hundes zog sich noch 7½ Stunden nach der Einspritzung in Folge des Anhauchens zusammen. Die Tetanisation des herumschweifenden Nerven führt hier eben so gut zum Stillstande, wie in dem gesunden Herzen. Lehrt schon die

[1]) Siehe das Nähere in demselben Nervenwerke S. 217—234.

[2]) L. PANUM, Experimentelle Untersuchungen. Berlin 1864. 8. S. 6—8 u. 121. 122.

Fortdauer des Pulsschlages des ausgeschnittenen Herzens, dass der Wechsel des die Herzmasse durchkreisenden Blutes für die periodischen Bewegungen desselben nicht nöthig ist, so zeigen die eben erwähnten Erfahrungen, dass überdies die Einspritzung die grösste Menge des Blutes verdrängt haben kann, ohne dass desshalb die lange Fortdauer des Herzschlages unmöglich bleibt, die Herzhöhlen mögen mit Blut oder mit Luft gefüllt sein [1]). Hieraus folgt, dass die durch die Verkürzung der Muskelfasern erzeugten nicht flüchtigen Zersetzungsproducte ohne augenblicklichen Nachtheil in der Herzmasse bleiben können und die sie durchtränkende Ernährungsflüssigkeit zu einer langen Unterhaltung des Verkürzungsvermögens ausreicht. Das allmälige Absterben lehrt aber, dass sie allein für die Dauer nicht genügt.

§. 412. Kann man nicht die Ursache des Herzschlages in dem das Herz durchfliessenden Blute suchen, so wäre es, wie es scheint, möglich, dass die über die Innenfläche der Herzhöhlen dahingleitende Blutmasse den Reiz liefert, dass also dieselbe Flüssigkeit, die fortgetrieben werden soll, die Pumpe selbst zu ihrer Thätigkeit anregt. HALLER [2]) trat als Hauptvertheidiger dieser schon von FONTANUS, LANCISI und vielen anderen älteren Forschern [3]) getheilten Ansicht auf, weil man den Herzschlag eines sterbenden Thieres wiederum beleben kann, wenn man Blut aus einer Hohlvene in den Vorhof presst, weil das vollständig entleerte Herz ruht und auch das blosse Lufteinblasen Bewegungen hervorzurufen im Stande ist. Die Erscheinung, dass der rechte Vorhof am Längsten klopft, sollte davon herrühren, dass dieser am Meisten mit Blut gefüllt bleibt, indem der Mangel der Athmungsthätigkeit den Eintritt in die Lungen nicht mehr gestattet, wenn sich noch das linke Herz entleeren kann. Erzeugt man aber die umgekehrten Bedingungen auf künstlichem Wege, verdrängt man alles Blut aus dem rechten Herzen und den zuführenden Blutadern, hält es dagegen in dem linken durch die Unterbindung der Aorta zurück, so klopft auch dieses nach HALLER [4]) längere Zeit als das rechte. Die Thatsache, dass sich der rechte Vorhof eines aus dem lebenden Thiere ausgeschnittenen Herzens und die Vorkammern überhaupt durch die längere Dauer und

---

1) HYRTL schliesst aus seinen Einspritzungen, dass die Herzmasse der Frösche und der Salamander gar keine Blutgefässe besitzt.

2) HALLER, De p. c. h. f. Tom. II. p. 440—453.

3) Siehe HALLER, Ebendas. p. 448. 449.

4) HALLER a. a. O. p. 446.

oft auch durch die Kräftigkeit ihres Pulsschlages vor den Kammern auszeichnen, wenn selbst jene Luft und diese Blut enthalten, zeugt schon gegen diese Auffassungsweise. Hat man die Herzhöhlen des Frosches durch die Unterbindung der beiden Aorten mit Blut stark angefüllt, so kehrt doch der gewöhnliche Rhythmus des Herzschlages nach einem kurzen Sturme von Unregelmässigkeiten[1]) wieder. Man sieht das Gleiche, wenn die Tetanisation des herumschweifenden Nerven alle Herzhöhlen mit Blut ausgedehnt hat und die Herzschläge von Neuem eingreifen, weil die zu lange Reizung den Nerven erschöpfte. Die seit STANNIUS oft vorgenommenen Unterbindungen einzelner Abschnitte des Froschherzens bringen diese nur für eine Reihe von Stunden, nicht aber für immer zur Ruhe. Die grössere Geneigtheit zu periodischen Bewegungen, welche die Vorhöfe den Kammern gegenüber darbieten und die rhythmische Reihenfolge der Verkürzungen der einzelnen Herztheile kann also nicht von dem dahinstreichenden Blute oder der blossen mechanischen Reizung herrühren. Da sich überdies die Vorhöfe und die Kammern lebender Thiere nicht zusammenziehen, während die einströmende Blutmasse an ihrer Innenfläche fortgleitet, sondern erst nachdem sie sich bis zu einem gewissen wechselnden Grade ausgedehnt haben, so genügt jene Vorstellung überhaupt nicht, von der Verkürzung der einzelnen Herztheile Rechenschaft zu geben.

§. 413. Man muss drei bis zu einem gewissen Grade von einander unabhängige Erscheinungen an dem klopfenden Herzen unterscheiden, die Zusammenziehung eines jeden Herztheiles, die Erschlaffung desselben und den periodischen Wechsel der Zustände je zweier auf einander folgender Hauptabschnitte. Der Herzschlag kann seine von den Lebensthätigkeiten geforderte Stärke auf die Länge nur bewahren, wenn Blut durch seine Höhlen strömt und die zur Ernährung nöthige Blutmenge seine Masse fortwährend durchfliesst. Die blosse Periodicität der Wirkungen aber und selbst eine ähnliche Dauer jeder Periode, wie im Leben, treten noch in dem Herzen lange Zeit auf, nachdem kein Blut mehr durch seine Muskelmasse strömt, die Höhlen mögen mit Blut oder einer anderen tropfbaren oder gasförmigen Flüssigkeit wenig oder stark gefüllt sein, sie mögen während ihrer Erweiterung Blut oder fast nur die aus ihrer eigenen Masse abgedunsteten Wasserdämpfe in dem luft-

[1]) Vgl. SCHIFF, Archiv für physiol. Heilkunde. Bd. IX. 1849. S. 228. 229 und GOLTZ in Virchow's Arch. Bd. XXIII. 1861. S. 20—32.

verdünnten Raume während ihrer Wechselthätigkeit aufnehmen und austreiben. Greift erst die Zusammenziehung des lebenden Herzens bei einem gewissen Erweiterungsgrade ein, so kann nicht das Dahingleiten einer Flüssigkeit das Bestimmungsglied derselben abgeben. Die später zu betrachtenden Versuche über den Lufteintritt in das Gefässsystem werden uns zeigen, dass eine strotzende Ausdehnung der Vorhöfe, wie sie durch das Blut im Leben erzeugt wird, das Herz binnen Kurzem zur Ruhe bringt, wenn sie durch atmosphärische Luft erzeugt worden. Eine genügende Erklärung der Anregung der Zusammenziehung der einzelnen Herztheile und ihrer periodischen Wiederkehr muss daher alle diese Fälle umfassen.

§. 414. Etwas Aehnliches gilt von der Reihenfolge der einzelnen Herzthätigkeiten. Man pflegt sich vorzustellen, dass die Kammern ihrer Lage wegen später als die Vorhöfe schlagen, weil sich die Verkürzung von diesen auf jene wurmförmig überträgt. Der Fall, in dem mehrere Vorkammerschläge einer Zusammenziehung der Herzkammern in dem absterbenden Herzen vorangehen oder der, in welchem jene allein noch fortdauern, lässt sich aus der Annahme eines Empfänglichkeitsunterschiedes der beiden Gebilde von jenem Standpunkte aus erklären. Es kommt in äusserst seltenen Fällen vor, dass die Kammern des früher ruhenden Herzens scheinbar von selbst zuerst schlagen und ihnen die Vorkammern nachfolgen. Man kann bisweilen diese Reihenfolge in dem ruhenden Froschherzen hervorrufen, wenn man den Spitzentheil der Kammer ansticht oder sonst mechanisch reizt. Man bemerkt sie nach LUDWIG und HOFFA häufig, wenn man Opiumtinctur in die Herzhöhlen von Säugethieren gebracht hat und sieht sie auch oft, so wie man eine Stelle der Kammern während der durch die Vagustetanisation erzeugten Herzruhe mechanisch reizt. Die Anhänger jener Vorstellung suchten diese Abweichung davon herzuleiten, dass die stärkere Erregung der Ventrikel die Zusammenziehung hier zuerst zum Vorschein bringt und daher der Continuität wegen rückwärts ablaufen lässt. Man hat aber in der ganzen Betrachtung übersehen, dass die Anheftungsmasse (§. 332) die Muskelfasern der Vorhöfe und der Kammern trennt, eine unvermittelte Uebertragung also aus diesem Grunde unmöglich ist.

§. 415. Die kurze Dauer der Zusammenziehung kehrt im Allgemeinen in jedem anderen quergestreiften Muskel eben so gut als in dem Herzen wieder, da der Starrkrampf nur entsteht, wenn sich die Erregung wiederholt, ehe die Erschlaffung in merklichem Grade

durchgegriffen hat. Beide Arten von Muskelfasern theilen auch das gemeinsame Merkmal, dass sich die Zeit, die zur Rückkehr aus dem verkürzten in den früheren Zustand nöthig ist, mit der Ermüdungsgrösse verlängert. Die Periodicität des Herzschlages wird unter diesen Verhältnissen von einer solchen der Erregung herrühren, deren Periode so lange Zeiträume umspannt, dass sich eine merkliche Dauer der Erschlaffung zwischen das Ende der ersten und den Beginn der nachfolgenden Verkürzung einschaltet. Da das Zwerchfell, die Zwischenrippenmuskeln und selbst einzelne Muskeln der Gliedmaassen frisch getödteter Thiere häufig genug periodisch zucken, ihre Nerven mögen mit dem centralen Nervensysteme zusammenhängen oder nicht, so können ähnliche Erregungsbedingungen, wie am Herzen, auch an den verschiedensten anderen Theilen auftreten. Man vermag sich dabei vorzustellen, dass die Thätigkeit ein Zersetzungsproduct erzeugt, das sich mit dem vorhandenen Blute oder der Ernährungsflüssigkeit zu einem neuen chemisch reizenden Körper verbindet. Der lebhaftere Herzschlag in Sauerstoff, die eine Zeit lang reizenden Wirkungen der Kohlensäure, die nicht begünstigenden des Stickstoffes oder des Wasserstoffes und die schädlichen des Schwefelwasserstoffes und wahrscheinlich des Kohlenoxyds liessen sich nach jener Voraussetzung eher einsehen. Der langsamere Herzschlag dagegen, den das durch die Erstickung dunkelroth gewordene Blut scheinbar erzeugt, rührt nach Thiry[1]) nur davon her, dass dieser wie jeder andere Sauerstoffmangel des zu den Vaguswurzeln strömenden Blutes sie stark anregt und daher die Ruhe des Herzens begünstigt.

§. 416. Der Mangel eines unmittelbaren Ueberganges der Muskelfasern der Vorhöfe und der der Kammern (§. 339) lässt zweierlei Annahmen zur Erklärung ihrer Wechselthätigkeit offen. Man könnte sich vorstellen, dass sich der mechanische Zug, den die Vorhofsverkürzung erzeugt, durch die Anheftungsmasse (§. 332) hindurch den Kammern mittheilt und sie auf diese Weise reizt, ehe die §. 414 erwähnte Selbsterregung eingreift. Der Weg in dieser Richtung sei aber vermöge der Beschaffenheit der Anheftungsmasse leichter als der entgegengesetzte. Daher auch die Kammern nur in seltenen Ausnahmefällen vor den Vorhöfen schlagen. Da aber nicht bloss die losgetrennten Vorkammern oder Ventrikel, sondern auch Bruchstücke derselben periodisch klopfen können, so folgt, dass diese

[1]) Thiry in Henle und Pfeuffer's Zeitschr. Dritte Reihe. Bd. XVIII. 1863. S. 1—11.

Art von Zusammenziehung auch ohne die mechanische Vermittelung der Anheftungsmasse zu Stande kommt. Eine zweite Auffassungsweise würde die Reihenfolge der Schläge der Vorhöfe und der Kammern in ähnlicher Weise auftreten lassen, wie die Wurmbewegungen der an einem einzelnen Bezirke gelähmten Speiseröhre eines lebenden Thieres, dessen verlängertes Mark die Erregung von den Nerven einer Stelle zu denen der anderen allmälig fortschreiten und unterhalb der gelähmten Gegend von Neuem anfangen lässt. Ein solcher Gang wäre auch im Herzen möglich, wenn die Nervenanordnung eine allmälige Mittheilung oder Induction der Erregung gestattete. Die Ansicht, dass dieses nur mit Hülfe von Ganglienkugeln geschehen könne, ruht auf keinen klaren Beweisgründen.

5. Einige Bemerkungen über krankhafte Herzthätigkeit.

§. 417. Die Art von Ektopie (§. 327), bei der das Herz in die Unterleibshöhle hineinragt, weil ein Theil des Zwerchfells mangelt, oder der umgekehrte Fall, dass der Magen oder ein Abschnitt des queren Grimmdarmes aus demselben Grunde in der Brusthöhle liegt, stört oft die Herzthätigkeit so wenig, dass man erst die Abweichung bei der Leichenöffnung bemerkt[1]). Man hat dann ähnliche Verhältnisse, wie sie in den Vögeln und den Amphibien und zwar theilweise in ausgedehnterem Maasse als Regel vorkommen. Die zweite Art von Ektopie, das Hervortreten des Herzens durch eine von der ersten Entwickelungszeit zurückgebliebene Brustspalte, bedingt eine weit kürzere Lebensdauer. Die auf diese Art missgebildeten, von Martinez, Monod, Cruveilhier und Mitchell beobachteten Kinder (§. 327) starben in den ersten Lebenstagen. Es liegt aber kein Grund vor, dass nicht auch Menschen mit frei heraushängendem Herzen unbestimmte Zeit fortleben, wenn die embryonale Spalte so sehr zugewachsen ist, dass sie die Athmungsthätigkeit der Lungen nicht wesentlich beeinträchtigt. Der frühzeitige Tod dürfte vorzugsweise von den Athmungshindernissen in den erwähnten Fällen hergerührt haben. Das mit Herzektopie versehene Kalb (§. 327),

[1]) Eine Reihe älterer Fälle der Art nebst der Schilderung eines Knaben mit Lage des Herzens in der rechten Brusthälfte findet sich in: J. J. A. Zedler, De situ cordis abnormi. Vratislaviae 1817. 4. p. 3—23.

das HERING beobachtete, lebte ohne sichtliche Beschwerden fort, obgleich sich die Kammern nur träge und wurmförmig zusammenzogen. Es wurde 11 Tage nach der Geburt durch einen Versuch getödtet, den wir bei den Schlagadern näher kennen lernen werden.

§. 418. Bleiben eine oder mehrere der mannigfachen embryonalen Entwickelungsstufen des Herzens oder der grossen Gefässe krankhafter Weise zurück, so kann dieses zur Folge haben, dass sich bedeutende Mengen dunkelrothen Blutes dem hellrothen beimischen und daher alle Theile, in deren Haargefässen das Blut durchschimmert, wie die Wangen und die Gesichtshaut überhaupt, die Lippen, die Zunge, die Nagelflächen eine auffallende blaue Farbe annehmen. Die Zeichen der Blausucht (Cyanosis) treten übrigens bisweilen erst im Laufe der Kinderjahre in merklichem Grade hervor. Sie fehlen häufig, wo man sie, wie es scheint, mit Sicherheit erwarten könnte. Alle krankhaften Erscheinungen sollen z. B. in einem von ZEHETMEYER [1]) beobachteten Falle von gänzlichem Mangel der Kammerscheidewand ausgeblieben sein. Bedenkt man, dass zwei Flüssigkeitsströme ohne merkliche Vermischung neben einander hergehen können, wenn die Seitendruckgrössen nicht sehr abweichen (§. 192), und Missbildungen des Herzens, welche grössere Lücken in der Scheidewand der Vorhöfe und der Kammern offen lassen, auch das gewöhnliche Verhältniss der Musculatur der rechten und der linken Herzhälfte nicht selten ändern, so kann das Ausbleiben der Blausucht in einzelnen Fällen der Art nicht befremden. Dasselbe gilt von den Durchbohrungen, die sich in der Scheidewand der Kammern durch Abscesse erzeugen [2]). Wie aber das Widerstandsvermögen gegen äussere Einwirkungen in Blausüchtigen herabgesetzt ist, weil das weniger geröthete Blut die Theile minder vollkommen belebt, wie desshalb die körperliche und die geistige Ermüdung rascher als in Gesunden eingreift, so können auch solche Folgewirkungen unter günstigeren Verhältnissen nur periodisch auftreten, wenn die anatomischen Bedingungen der Blausucht in Folge der Herzthätigkeit in ruhigen Zeiten aufgehoben werden. Geistige Erregung, eine allzu starke Füllung des Nahrungscanales, rasches Gehen, andere körperliche Anstrengungen oder eine niedere Wärme der Umgebung können die blaue Färbung in beiden Fällen ver-

[1]) FRIEDREICH a. a. O. S. 425.

[2]) Siehe z. B. den den Geschichtsforscher KORTÜM betreffenden Fall bei FRIEDREICH a. a. O. S. 275. 276.

grössern. Sie erzeugen nicht selten Herzklopfen, Kurzathmigkeit und Bluthusten, dessen stärkster Anfall zuletzt den Kranken bisweilen aufreibt. Der geringere Sauerstoffgehalt des Blutes hat zunächst eine kleinere Wärmebildung zur Folge. Die Hände, die Füsse und der ganze Körper überhaupt erkalten daher in auffallender Weise. Es stellt sich Frösteln bei Wärmegraden ein, die in keiner ungewöhnlichen Weise auf den Gesunden wirken. Wie die Nervendurchschneidung das Widerstandsvermögen der gelähmten Theile herabsetzt[1]), so kann etwas Aehnliches in Blausüchtigen wiederkehren. Die Leichtigkeit des Bluthustens, der häufige Eintritt von Bronchialkatarrhen nach Erkältungen, die blauere Färbung der Theile in niederen Wärmegraden und selbst die Ausbildung von Brand in entfernten Körpertheilen, wie in dem Fusse[2]), unter ungünstigen Nebenbedingungen müssen unter diesem Gesichtspunkte aufgefasst werden. Wie die Endglieder der Finger und der Zehen in Schwindsüchtigen keulenförmig werden, so kann sich etwas Aehnliches bei angeborenen Missbildungen des Herzens wiederholen, wenn sich auch sonst keine ununterbrochen auftretenden Zeichen der Blausucht geltend machen. Wir haben schon §. 362 gesehen, wesshalb wahrscheinlich jede merkliche Aenderung der Blutfarbe bei dem so häufigen unvollständigen Verschlusse des eirunden Loches ausbleibt.

§. 419. So oft übrigens Fälle von Missbildungen des Herzens und der grossen Gefässe[3]), die Blausucht zur Folge hatten, beschrieben wurden, so wenig hat man sie im Allgemeinen mehr als anatomisch ausgebeutet. Man sollte vorzugsweise drei Punkte berücksichtigen. Die nicht selten vorkommende regelwidrige Anordnung und Ausbildungsgrösse der Muskelfasern, die zum Theil eine Hemmungsbildung darstellt und sich aus der Entwickelungsgeschichte erklärt, und die abnormen Stellungen, Weiten und Oeffnungsbeziehungen

---

[1]) Siehe Phys. Path. der Nerven. Abth. II. S. 192 fgg.

[2]) Einen Fall, in welchem der rechte Unterschenkel eines 11jährigen blausüchtigen Mädchens wegen Brand des Fusses abgesetzt wurde, der Stumpf verheilte und der Tod erst zwei Jahre später erfolgte, theilt mit: C. Karsten, Ein Fall von abnormer Communication zwischen beiden Herzventrikeln. Rostock 1864. 8. S. 5—8.

[3]) Eine sehr fleissige beurtheilende Zusammenstellung derselben findet sich in: H. Friedberg, Die angeborenen Krankheiten des Herzens und der grossen Gefässe des Menschen. Leipzig 1844. 8. S. 78—120. Vgl. auch J. C. Hein, De istis cordis deformitatibus, quae sanguinem venosum cum arterioso misceri permittunt. Gottingae 1816. 4. p. 4—49.

der grossen Gefässe bedingen eine ungewöhnliche Herzthätigkeit, die sich nach der anatomischen Untersuchung wenigstens zum Theil theoretisch bestimmen lässt. Es wird von diesen Bedingungen abhängen, ob und in welchem Grade sich beide Blutarten mischen, ob ein Uebergang von dem rechten zum linken Herzen oder umgekehrt stattfindet. Die Verhältnisse des Herzstosses, die Percussion und die Auscultation und der Wechsel der Wahrnehmbarkeit der hierher gehörenden Erscheinungen mit den verschiedenen Arten der Athmungsthätigkeit können mannigfache Aufschlüsse im Leben geben. Man wird endlich genauer, als es bisher geschehen, feststellen müssen, bei welchen Missbildungen die Erscheinungen der Blausucht und die Folgebeschwerden derselben bei den angestrengteren Athembewegungen des Saugens, des Schreiens, des Hustens, des Lachens und des Weinens, des Treppen- oder des Bergsteigens, oder bei den Erregungen des Schreckens, der Angst oder der Kälte in merklicherem Grade zum Vorschein kommen, sonst dagegen unbedeutend bleiben. Es ist dann zu bestimmen, in welchen Fällen der Unterschied nur von einer Anhäufung des dunkeln Blutes in den Venen und den Haargefässen und in welchen er von einer reichlichen Vermengung beider Blutarten herrührt. Lässt sich auch die Ursache, wesshalb solche Blausüchtige von Krankheiten der Luftröhre und der Bronchien leichter als Andere befallen werden, im Allgemeinen einsehen (§. 417), so wird doch erst die genauere Verfolgung der Beziehungen der vorliegenden Missbildung des Herzens zur Athmung und Ernährung eine genügendere Erkenntniss möglich machen.

§. 420. Kommt es auch bisweilen vor, dass das Herz einer angeborenen Missbildung wegen rechts statt links liegt, es möge sich eine Umkehr der Lage der Unterleibseingeweide (Transpositio viscerum abdominalium) hinzugesellen oder nicht, so hat man doch nicht das Recht, auf diesen Zustand nur desswegen zurückzuschliessen, weil man den Herzstoss und die Herztöne an denselben ungewöhnlichen Stellen Wochen und Monate lang wahrnimmt. Verkrümmungen der Wirbelsäule und des Brustkastens, langsam wachsende Aneurysmen und Geschwülste aller Art können den gleichen Erfolg nach sich ziehen. Erhält man einen stärkeren Herzton als gewöhnlich an einer Stelle, an der sonst die Einschaltung eines Lungenstückes die Tönung dämpft, so darf man eben so wenig mit Sicherheit schliessen, dass der entsprechende Bezirk der Lunge durch Tuberkeln zum grössten Theile verstopft oder in Folge von Einschrumpfung zurückgezogen ist. Es wäre möglich, dass eine

Zunahme der Dichtigkeit oder eine solche des Elasticitätsmoduls der Klappen (§. 384) das gleiche Ergebniss herbeiführt.

§. 421. Gehen gesunde Thiere an Athmungslähmung zu Grunde, so vergrössert sich desshalb nicht die Menge der Herzbeutelflüssigkeit in auffallender Weise. Dieses berechtigt aber nicht, eine mässige Vermehrung derselben, die man in der Leiche eines Kranken findet, als einen Anfang von Herzbeutelwassersucht, welche schon im Leben vorhanden war, anzusehen. Eine regelwidrige Beschaffenheit des Blutes und eine grössere Porosität [1]) der Häute kann die Ausschwitzung während des Todeskampfes erzeugen. Die linke Kammer trieb dann noch Blut in die Körperarterien. Die Erschwerung des Athmungskreislaufes dagegen erzeugte eine Stauung in dem rechten Herzen und den Körpervenen. Der Druck erhöhte sich in den Haargefässen, indem die Spannung der Schlagadern immer noch, wenn auch in geringem Grade periodisch stieg und der Widerstand der Blutadern anhaltender entgegenwirkte. Dehnt das Wasser den Herzbeutel so sehr aus, dass hierdurch der Herzstoss unkenntlich wird, so liefert dieses noch keinen bindenden Grund, dass man die Herztöne schwächer hört. Findet es sich in vielen Fällen, so rührt es von ungünstigen Nebenbedingungen, z. B. von Gerinnungsflocken oder anderen Ungleichheiten in der Flüssigkeit und vorzugsweise von der schlechteren Leitung der zwischen der Flüssigkeit und der äusseren Haut liegenden infiltrirten Bindegewebsmassen her. Halbfeste Blutergüsse oder dichte Ausschwitzungen setzen die Wahrnehmbarkeit der Herztöne ebenfalls herab. Der metallische Ton oder das plätschernde Geräusch, das bei Luftinhalt des Herzbeutels vorkommen soll, bedarf noch näherer Untersuchungen. Man kann sich bei der späteren Bestätigung der Diagnose täuschen, wenn man die Leichenöffnung nicht zeitig genug anstellt, weil auch bisweilen die Fäulnisszersetzung·Gase unter krankhaften Verhältnissen frühzeitig frei macht.

§. 422. Alle regelwidrigen Unebenheiten, die sich an der inneren Oberfläche der Wandungs- oder der Organlamelle des Herzbeutels oder an der Innenhaut des Herzens erzeugen, vergrössern die Reibung. Sie erschweren daher die Bewegungen und bedingen Reibungsgeräusche. Man hat diese mit Unrecht mit dem be-

---

[1]) Weitbrecht (Comment. Petropol. 1733. Petropoli 1738. 4. p. 274) sah schon in seiner Arbeit über das Cor villosum die Ausschwitzung als die Folge einer grösseren durch die Blutstauung erzeugten Porosität der Wände an.

sonderen Namen des Katzenschwirrens oder Katzenschnurrens belegt, wenn sie aus der Tiefe kamen. Ihre Stärke wechselt nicht bloss mit der Ausdehnung, sondern auch mit der Form, der Dichtigkeit und der innigen oder der lockeren Anheftung der sie hervorrufenden Ablagerungen, so dass wenige, aber feste Faserstoffmassen ein starkes und weiche Ausschwitzungen ein leises Reibungsgeräusch unter günstigen Nebenbedingungen hervorrufen. Es gehörte zu den vielen Selbsttäuschungen der Auscultation, wenn man die pericardialen von den endocardialen Geräuschen dadurch unterscheiden wollte, dass jene näher und diese entfernter klingen. Unser Ohr bildet ein stumpfes Werkzeug für die Unterscheidung des Abstandes der Tonquelle. Pericardialgeräusche, die von der hinteren Seite des Herzbeutels herrühren, werden natürlich noch entfernter als die endocardialen erscheinen. Dasselbe gilt von dem angeblichen Zeichen, dass sich die pericardialen Geräusche durch einen kräftigeren Druck des aufgesetzten Stethoskopes verstärken. Kommt es zu krankhaften Ausschwitzungen, so durchdringen zugleich oft regelwidrige Aussonderungen des Blutes alle benachbarten Gewebtheile, also auch die Anfänge der Schlagaderstämme im Herzbeutel, die halbmondförmigen oder die venösen Klappen. Die Bedingungen der Erzeugung und der Fortleitung der Töne und der Geräusche ändern sich auf diese Art mit der Dichtigkeit und der Federkraft der erkrankten Gewebe. Verwachsungen oder die sogenannte Obliteration des Herzbeutels (§. 382) werden nur dann die Herzthätigkeit stören, wenn sie grössere Bezirke an ihren Bewegungen hindern, also z. B. in dem seltenen Falle, in dem ausgedehnte Verknöcherungen zugleich vorkommen. Der Schluss, dass sie immer eine Hypertrophie des Herzens zur Folge haben, ist nicht begründet.

§. 423. Das Herz der Frösche enthält einzelne ausgezeichnete Stellen, nach deren Entfernung die Schläge desselben schwächer und seltener zu werden pflegen. Hierher gehört vor Allem der Theil der Vorhofsscheidewand, der die Ganglienmassen führt, in welche sich Fäden der beiden herumschweifenden Nerven einsenken und ausserdem der Kammerbezirk in der Nähe der Querfurche, der ebenfalls Ganglien nach Bidder führt. Die Vorkammern der Säugethiere klopfen stärker als die Kammern fort, nachdem man sie in der Querfurche getrennt hat. Diese bildet auch hier wie im Frosche die günstigste galvanische Reizstelle, wenn man die Herzthätigkeit von Neuem beleben will. Man darf hiernach erwarten, dass auch

im Menschen einzelne ausgezeichnete Orte vorhanden sind, deren Erregung oder Beeinträchtigung durch entfernte Nervenwirkungen oder durch Blutergüsse und deren Zerstörung durch Zerreissungen oder Eiterungen die Herzthätigkeit wesentlich ändern. Man hat Athemnoth, wenn der Lungenkreislauf und ausserdem noch alle mechanischen und chemischen Folgen des Mangels des gehörigen Blutwechsels, wenn zugleich der Körperblutlauf unzureichend wird. Liegen aber die Entartungsheerde an nicht ausgezeichneten Stellen des Herzens, so können auch jene tieferen Störungen ausbleiben. Man entdeckt sie daher erst bei der Leichenöffnung. Das unangenehme Gefühl, das Kranke mit Herzentzündung in der Herzgegend haben, stimmt mit physiologischen Erfahrungen überein. Die Reizung von Aesten des Sympathicus oder anderer Nerven, die zu sonst unempfindlichen Theilen gehen, wird unmittelbar nach ihrer Blosslegung nicht bemerkt. Sie erzeugt dagegen später die nachdrücklichsten Schmerzen, wenn sich eine stärkere Blutfüllung unter dem Einflusse der Luft und der übrigen Störungen eingefunden hat. Wie sich aber die Empfindlichkeit nach einem heftigen Eingriffe sogleich verräth, so rührt wahrscheinlich der Schrei, den Menschen, deren Herz reisst, in demselben Augenblicke ausstossen, von einer schmerzhaften Empfindung und nicht von der bald folgenden Erstickungsnoth her. Da sich die innere Herzfläche für Gifte empfänglicher als die äussere zeigt, so lässt sich erwarten, dass sich etwas Aehnliches unter krankhaften Verhältnissen in jeder Beziehung geltend macht.

§. 424. Ein Körpermuskel, der sich Wochen oder Monate lang aus irgend einem Grunde nicht zusammenzieht, wird nach und nach dünner. Seine Fasern erblassen allmälig und gehen zum Theil an Fettentartung zu Grunde. Man bemerkt häufig die Abmagerung eines oder mehrerer Bezirke des Herzens, wenn eine örtliche sackförmige Ausdehnung oder benachbarte regelwidrige Knorpel-, Knochen- oder Bindegewebsmassen die ausgiebige Verkürzung eines Bezirkes hindern. Die Musculatur desselben verdünnt sich aber nicht bloss ihres Schwundes wegen, sondern weil sie der Druckwirkung des Blutes weniger als die steiferen Nachbartheile widerstehen kann und sich daher leichter ausdehnt. Enthält aber ein Herz sogenannte S e h n e n f ä d e n oder S c h w i e l e n in seinen Warzenmuskeln, seinen Fleischbalken oder in anderen Gegenden statt der Muskelfasern, so geht nicht nur ein entsprechender Theil der Herzkraft, sondern auch die vollkommen regelmässige Wirkung der noch thätigen benachbarten Muskelmassen verloren. Man kann

daher auch nicht immer alle im Leben beobachteten Unregelmässigkeiten aus den in der Leiche vorgefundenen Entartungen unmittelbar erklären. Jene Entartung, Geschwülste, knorpelige oder Knochenmassen im Herzen können es bewirken, dass ein Bezirk des Herzens beständig verengert bleibt und daher Stauungen hinter sich und unvollkommene Blutbewegung vor sich erzeugt.

§. 425. Das aus dem Wesen der Muskelthätigkeit folgende Gesetz, dass die thätige Verkürzungsmasse mit den Widerständen, die sie fortwährend überwinden muss, zu- oder abnimmt, macht sich unter krankhaften Verhältnissen eben so gut als in regelrechtem Zustande (§. 344) geltend. Man darf daher eine Hypertrophie der entsprechenden Vorkammer erwarten, wenn eine Verengerung der venösen Mündung oder starke Verkalkungen der Zipfel der Atrioventricularklappe den Uebergang des Blutes aus dem Vorhofe in die Kammer erschweren. Die Muskelmasse der rechten Kammer verdickt sich allmälig, wenn sich etwas Aehnliches für die rechte arteriöse Mündung oder den Lungenkreislauf und die der linken, wenn sich dasselbe für die linke arteriöse Mündung oder den Körperkreislauf wiederholt. Man berücksichtigt gewöhnlich nur die Kammern bei den Leichenöffnungen, so dass man bloss über die Hypertrophie oder Atrophie eines Ventrikelbezirkes zu urtheilen pflegt. Selbst diese zu eingeschränkte Untersuchung führt aber oft zu Täuschungen, indem man nicht beachtet, dass der rechte Vorhof des todten Herzens in hohem Grade erschlafft und der linke verdickt sein kann, weil er sich in Todtenstarre oder in einer nach ihr zurückbleibenden eigenthümlichen Molecularanordnung der wiederum weich gewordenen Fasern befindet. Die Ausmessung der Dicken der einzelnen Kammerwände kann dann keine genügenden Aufschlüsse geben. Nur vergleichende Wägungen, die grosse Gewichtsunterschiede liefern, werden in solchen Fällen mit Sicherheit leiten[1]).

§. 426. Man pflegt sich vorzustellen, dass der krankhaft vergrösserte Widerstand in dem Lungen- oder dem Körperkreislaufe, der eine Hypertrophie der rechten oder der linken Kammer erzeugt, den entsprechenden Hohlraum derselben zuerst vergrössert und die Wände erst nachträglich hypertrophisch macht, weil die Neubildung langsamer zu Stande kommt. Die Vermehrung der Muskelmasse und die Erweiterung würden hiernach zuletzt immer gleichzeitig

[1]) Einige Bestimmungen der Art finden sich in m. Lehrbuche der Physiologie. Zweite Auflage. Bd. I. S. 443. 444.

vorkommen. Man nannte die Erscheinung die Compensation der Herzfehler[1]). Sie sollte es erklären, wesshalb oft Herzkrankheiten Jahre lang ohne merkliche Beschwerden fortdauern. Dieses

---

[1]) Die sogenannte Compensationsgleichung wird durch $\frac{k}{m} = g$ ausgedrückt, wobei k die Muskelmasse der Kammer, m den Hohlraum derselben und g die Beschleunigung bezeichnet, die ihre Verkürzung der Blutmasse ertheilt. Dieser Ausdruck kann aber nicht genügen, weil sich die Druckkraft nicht in gleichem Verhältnisse der Muskelmasse ändert (§. 344 fgg.), die in der Wirklichkeit erzeugte Beschleunigung von den entgegenstehenden Widerständen wesentlich abhängt und andere Ursachen die Füllung und andere die Entleerung der Kammern bestimmen, wie wir sogleich sehen werden.

Es ist eben so wenig gerechtfertigt, wenn man eine Reihe von unmittelbaren oder mittelbaren Folgen, die einzelne Herzkrankheiten nach sich ziehen, wie die Stauungen des Blutes in den Lungen oder in anderen Körpertheilen, die Wirkung der Porositätsänderung und der Entartung der Gefässwände überhaupt, die Blutergüsse aus den feineren Gefässen der Athmungswerkzeuge, des Gehirns oder der Netzhaut, die wassersüchtigen Ausschwitzungen in den serösen Höhlen und dem Unterhautbindegewebe, die Muskatnussleber oder andere Leberentartungen, die Ausdehnung der Nierengefässe, den Eiweissgehalt des Urines, den Blutharn und selbst die Embolie, welche durch fortgeführte Blutgerinnsel erzeugt worden, mit dem Namen der Ausgleichungs- oder der Compensationsstörungen bezeichnet. Dieses Wort passt nur für solche regelwidrige Zustände, die als heilsame oder wenigstens als verbessernde Gegenwirkungen anderer durch die Herzkrankheit bedingter schädlicher Folgen auftreten und daher auch oft Herzleidende lange Zeit bei scheinbarer Gesundheit oder wenigstens mit verhältnissmässig unbedeutenden Beschwerden am Leben erhalten. Eine stärkere Entwickelung der Muskelmasse des Herzens kann z. B. auf diese Weise die Nachtheile der Kammererweiterung oder des Zurücksinkens einer reichlichen Blutmenge, die Fettentartung eines Theiles der Muskelfasern die Folgen der Kammerhypertrophie und die Querschnittszunahme der Haargefässe die durch die Venenstauung erzeugten Hindernisse bis zu einem gewissen Grade ausgleichen.

Die Blutfülle der Vorräume, die eintreibenden Druckkräfte, die Elasticitätsform der Kammer (§. 334) und die von dem Elasticitätsmodul abhängige Dehnbarkeit der Wände derselben bestimmen die während der Diastole aufgenommene und die Druckkräfte, welche die Zusammenziehung erzeugt, und die vorliegenden Widerstände die während der Systole austretende Blutmenge. Man sieht hieraus, dass diese beiden Werthe wechselseitig unabhängig sind und zum Theil von Bedingungen bestimmt werden, die ausserhalb der Kammer liegen. Man kann sie daher nicht in unmittelbare gegenseitige Beziehung bringen. Geht man von der wahrscheinlichen Annahme aus, dass jede Zusammenziehung der gesunden Kammer alles Blut derselben vollständig entleert, so hat man hier eine Ausgleichung zwischen Aufnahme und Ausgabe. Die Ursache liegt vermuthlich darin, dass der die Widerstände überwindende Kammerdruck lange genug dauert, um allen Inhalt auszutreiben. Verstärkt er sich, weil sich die Muskelmasse kräftiger zusammenzieht, während die Widerstände die gleichen bleiben, so muss die systolische Geschwindigkeit des Schlagaderblutes und mit ihr bei sonst unveränderten Verhältnissen die Schnelligkeit des Kreislaufes zunehmen. Man wird das Gleiche bei Hypertrophie der Kammerwand haben, wenn die dreizipfelige Klappe vollständig schliesst und der Kammerdruck mehr als die Summe der Widerstände wächst. Ist aber das Umgekehrte

lässt sich nicht immer sicher beweisen. Man muss zunächst bedenken, dass die Hohlräume, die man in dem todten Herzen findet, nicht nur von denen des lebenden abweichen, sondern auch keinen sicheren Rückschluss auf die Verhältnisse im Leben gestatten, wenn nicht die beträchtlichste Raumvergrösserung eines einzelnen Theiles vorliegt. Die Kammerhöhle wird überdies nur dann krankhaft erweitert bleiben, wenn die durch die Vermehrung der Muskelmasse gewonnene Kraft kleiner als der Ueberschuss des regelwidrigen Widerstandes über den gesunden ist. Kommt es dagegen zu einer vollständigen Ausgleichung dieser beiden Bedingungsglieder, so hat man z. B. eine Hypertrophie der rechten Kammer und eine bleibende Widerstandsvermehrung in dem Lungenkreislaufe ohne Vergrösserung des Hohlraumes. Da die Muskelmasse nur allmälig zunimmt, so ist es möglich, dass zuerst die Erweiterung und später die Wandverdickung die Oberhand gewinnt. Die unvollkommene Vergrösserung der Muskelmasse und der verhältnissmässig früh eintretende Tod scheinen die vollständige Ausgleichung in der Mehrzahl der Fälle zu hindern.

§. 427. Man hat bis jetzt nicht immer berücksichtigt, dass Vor- und Rückbildungsprocesse des Herzens nach Maassgabe der krankhaften Nebenbedingungen häufig eingreifen. Die von Traube[1]) hervorgehobene Verbindung von Kreislaufshemmungen in den atrophischen Nieren mit Hypertrophie der linken Kammer gehört in diesen Kreis von Erscheinungen. Die Verstopfung der Nieren oder eines anderen blutreichen Abschnittes erzeugt eben so gut eine Widerstandserhöhung in dem grossen, als die Unwegsamkeit eines beträchtlichen Theiles der Lungen in dem kleinen Kreislaufe. Beide werden zuerst eine merkliche Erweiterung und dann Hypertrophie der linken oder der rechten Kammer zur Folge haben, wenn sie

---

der Fall, so nimmt zunächst der Wanddruck zu. Eine gewisse Blutmenge muss in der Kammerhöhle zurückbleiben, wenn die Widerstände der vorliegenden Blutsäulen, oder die der Dehnbarkeit der Schlagaderwände oder beide Bedingungsglieder zugleich eben so gross als der von der Musculatur gelieferte Druck werden, ehe die vollständige Entleerung stattgefunden hat. Schliessen aber die dreizipfelige oder die zweizipfelige Klappe nicht vollkommen, so liefert die Zusammenziehung der rechten oder der linken Kammer nicht etwa eine bloss zum Theil nutzlose Arbeit, wie eine Schraube, die einen tauben Gang hat, sondern eine negative Leistung in der Richtung nach den Vorhöfen und eine um diese kleinere positive in der nach den Kammern. Der Verlust wird daher ein doppelter für die regelrechte Blutbewegung. Die oben erwähnte Compensationsgleichung kann daher um so weniger diesen Verhältnissen Genüge leisten.

[1]) L. Traube, Ueber den Zusammenhang der Herz- und Nierenkrankheiten. Berlin 1856. 8. S. 58. 59.

mit hinreichendem Nachdrucke eingreifen. Die Störung kann sich aber dadurch ausgleichen, dass das Blut durch den wegsamen Theil der noch offenen Bahnen rascher strömt, also durch eine Vergrösserung des Rauminhaltes und des Druckes der entsprechenden Kammer mit oder ohne die Erweiterung der wegsamen Blutgefässe. Eine belästigende Blutfülle oder, richtiger gesagt, die Zeichen eines stärkeren Seitendruckes des Blutes können im Anfange in kräftigen Menschen, denen ein grösseres Glied abgenommen worden, zum Vorschein kommen.

§. 428. Die §. 372 erwähnten Thatsachen lassen ohne Weiteres einsehen, wesshalb die Ausdehnung und die Stärke des Herzstosses bei der Hypertrophie einer oder beider Kammern in hohem Grade zuzunehmen vermag. Die Veränderung wird aber nicht bloss den Bezirk der durch die Percussion wahrnehmbaren Herzdämpfung vergrössern, sondern auch im Allgemeinen die Zuleitung der Herztöne zu dem auscultirenden Ohre begünstigen, weil die stärkere Muskelmasse vorzugsweise in dem gespannten Zustande ihrer Zusammenziehung besser leitet, als das Bindegewebe, das sonst als vorherrschendes Zwischenmittel auftritt. Dieser Vortheil fällt im Allgemeinen für den ersten Herzton grösser als für den zweiten aus. Die Tönung, die der Atrioventricularklappe der kranken Kammer angehört, klingt daher auch häufig metallischer, als die des gesunden Ventrikels.

§. 429. Wirken der Ort und die Grösse des Widerstandes, der zu einer krankhaften Vermehrung der Muskelmasse oder zu einer Erweiterung führt, auf die einzelnen Bezirke des Herzens ungleich ein, so ändern sich auch manche Fasersysteme durchgreifender als andere. Derselbe Satz scheint für die Thätigkeiten ebenfalls zu gelten. Wie die Art der Herzbewegung bei dem Absterben wechselt (§. 330 u. 371), weil wahrscheinlich der eine nervöse oder musculöse Bezirk weniger als ein anderer gelitten hat, so wiederholt sich etwas Aehnliches unter krankhaften Verhältnissen um so eher, als die oft regelwidrig erhöhten Widerstände eine ungewöhnliche Wirkungsweise schon bei regelrechten Kräften möglich machen und eine übermässige Ausdehnung die Einflüsse der Nerven und der Muskeln nicht bloss schwächt, sondern auch verlangsamt[1]). Die bei Hypertrophie und Erweiterung eines Kammertheiles oft beobachtete wurmförmige Fortpflanzung der Zusammenziehung, die wir auch schon unter

---

[1]) Siehe Physiol. Path. d. Nerven. Bd. II. S. 241—245.

anderen regelwidrigen Verhältnissen angetroffen haben (§. 327), gehört zunächst hierher. Es kommt wahrscheinlich in dem kranken, wie in dem absterbenden Herzen bisweilen vor, dass sich die beiden Kammern gleichzeitig, aber ungleichförmig verkürzen, und man desshalb zwei verschiedene Arten wühlender Bewegungen neben einander in der Spitzengegend von aussen erkennt, dass Hindernisse den Schlag der Kammern leichter als den der Vorhöfe, oder umgekehrt stören, dass diese mehrere Male klopfen, ehe eine Kammerverengerung zu Stande kommt, dass sich jene aus krankhafter Erregbarkeit im Laufe der Erschöpfung oder wegen der Mühe, die äusseren Widerstände zu überwinden, zwei Mal hinter einander zusammenziehen und so einen wahren doppelschlägigen Puls bedingen. Die Schwäche der thätigen Elemente oder die Grösse der Widerstände kann vermuthlich dazu führen, dass Blut in den Zwischenräumen zwischen den Warzenmuskeln, den Fleischbälkchen oder an krankhaft rauhen Stellen des Herzens zurückbleibt und Gerinnungsmassen allmälig erzeugt, die nicht erst nach dem Tode oder in dem Todeskampfe entstanden sind, also keine sogenannten Sterbepolypen bilden. Erstarrt auch das Blut in dem Herzen und in den Gefässen schwerer und langsamer als im Freien (§. 245), so gibt es doch vielleicht krankhafte Mischungen desselben, welche diese Norm wesentlich ändern (§. 242 fgg.).

§. 430. Die regelwidrige Erweiterung einer der Mündungen des Herzens bedingt zunächst, dass eine grössere Blutmenge unter geringerem Widerstande (§. 124) durchgehen kann. Die Form der Oeffnung und die Beziehungen zu den benachbarten Hohlräumen und nicht bloss die Querschnittsvergrösserung greifen hier maassgebend ein (§. 187). Da der Schluss der Segelventile der Atrioventricularmündungen und der an dem Anfange des Schlagadersystemes befindlichen Taschen nur bis zu einer gewissen Grösse der zu ihnen gehörenden Oeffnungen möglich bleibt, so erzeugt jede bedeutende Erweiterung einen tauben Gang der Herzthätigkeit, durch den ein Theil des Blutes dahin, woher er kam, zurückkehrt. Dasselbe wiederholt sich für die von keinen Klappen geschützten Mündungen der Körper- und der Lungenblutadern, wenn die Verkürzung der sie umgebenden Ringfasern (§. 333) keinen vollkommenen Schluss mehr herbeiführt. Die krankhafte Erweiterung einer Oeffnung führt daher im Allgemeinen zu leichterer Entleerung des sich zusammenziehenden entsprechenden Abschnittes des Herzens und zur Interferenz der regelwidrig zurückkehrenden Flüssigkeit mit der

dahinter liegenden, die später in entgegengesetzter Richtung vordringen soll. Eine gewisse Grösse von Herzarbeit[1]) geht auf diese Weise für die Blutbewegung in den Gefässen verloren (§. 425 Anm. 1). Verkleinert sich die Durchgangsöffnung im Laufe der Zeit, so können die Zeichen des Rückganges des Blutes gänzlich ausbleiben.

§. 431. Die krankhafte Verengerung einer Herzöffnung, bei der noch eine vollständige Ventilthätigkeit möglich bleibt, die also weder mit erworbenen Klappenfehlern verbunden ist, noch von angeborenen störenden Missbildungen[2]) der grossen Gefässe herrührt, erschwert nur den Durchgang (§. 187). Verbindet sie sich aber mit irgend einer Art von Abweichungen der Klappenhäute, die einen genügenden Schluss unmöglich machen, wie dieses z. B. bei Erhärtungen, Vererdungen oder Verschrumpfungen der Fall ist, so kann sich die Schwierigkeit des Durchtrittes des Blutes zu passender Zeit mit der regelwidrigen Rückkehr zu unpassender verbinden. Alle durch diese und andere durch Herzfehler erzeugten Kreislaufsstörungen lassen sich auf den allgemeinen Grundsatz zurückführen, dass hinter dem den Austritt erschwerenden Herztheile Stauung, grösserer Widerstand, Neigung zu Erweiterung (Gesetz der Rückerweiterung) und Hypertrophie und vor ihm geringere Füllung und Spannungsabnahme bestimmend eingreifen. Da die Verengerung ein mechanisches Hinderniss setzt, so kann sich desshalb die Erschütterung, die der Anprall der Flüssigkeit an die dichten Nachbartheile erzeugt, so sehr vergrössern, dass sich hierdurch ein fühlbares Schwirren, das unpassend genannte Katzenschnurren erzeugt (§. 399). Oertliche Verengerungen der grossen Gefässe führen ebenfalls zu eigenthümlichen Geräuschen, die wir bei der Betrachtung der Schlag- und der Blutadern näher kennen lernen werden.

§. 432. Die blossgelegten äusseren Drosselvenen eines Kaninchens zeigen eine auffallende, mit der Ein- und der Ausathmung wechselnde An- und Abschwellung, zu der sich oft in Hunden eine schwächere, aber immer noch unmittelbar kenntliche, dem Herzschlage entsprechende Querschnittsveränderung zugesellt. Das Gleiche kehrt im Menschen wieder. Bemerkt man die Erscheinung in mageren Personen bei unversehrter Haut, so darf man sie nicht ohne Weiteres als ein Krankheitszeichen ansehen. Das von dem Herz-

---

[1]) Vgl. auch TRAUBE a. a. O. S. 21.

[2]) Eine Zusammenstellung der mit der Verengerung der rechten arteriösen Mündung verbundenen Fälle der Art nebst der Beschreibung eines neuen findet sich bei: C. STÖLKER, Ueber angeborene Stenose der Arteria pulmonalis. Berlin 1864. 8. S. 1—85.

schlage abhängige An- und Abschwellen kann sich aber unter regelwidrigen Verhältnissen nicht bloss vergrössern, sondern auch zeitlich ändern. Ist das Endstück der oberen Hohlvene durch die Verkürzung seiner quergestreiften Fasern geschlossen, während sich die linke Kammer zusammenzuziehen anfängt (§. 347), so begünstigt dieses die Anschwellung der äusseren Drosselblutader, weil Blut von den Haargefässen zuströmt, ohne dass sich dafür Flüssigkeit in den Vorhof entleert. Macht die Ringmusculatur des systolischen Vorhofes die Rückkehr des Blutes in die obere Hohlvene unmöglich, so ist wiederum ein Grund für die Anschwellung der Drosselblutadern gegeben. Diese Stauung wird also nahezu während der ganzen Erschlaffung und des Anfanges der Zusammenziehung der Kammern anhalten. Erweitert sich die Hohlvene so sehr, dass ihre eigene Musculatur ihren Hohlraum nicht schliessen kann, so beginnt schon die Abschwellung mit oder unmittelbar nach dem Ende der Vorhofsverkürzung. Schliessen endlich die zusammengezogenen Ringmuskeln des Vorhofes die Hohlvenenmündungen nicht vollständig, so wird das zurückgetriebene Blut die Querschnitte der Venen vergrössern. Die Wirkung dehnt sich in der unteren Hohlader weiter als in der oberen aus, weil hier die Klappen gar nicht oder erst später hindernd entgegentreten. Alle krankhaften Bedingungen endlich, welche die Einathmung und die Ausathmung tiefer machen, erhöhen auch die respiratorischen Querschnittsänderungen der Drosselblutadern.

§. 433. Bamberger[1]) hob am Ausführlichsten hervor, dass die Unzulänglichkeit oder die Insufficienz der dreizipfeligen Klappe ein sehr lebhaftes, von dem Herzen abhängiges und räumlich und zeitlich schlagaderähnliches Klopfen vorzugsweise der inneren Drosselblutadern erzeugt. Er nimmt an, dass die kräftige Zusammenziehung der rechten Kammer eine gewisse Menge Blutes durch die rechte Atrioventricularmündung in den Vorhof und von da in die Hohl- und die Drosselvenen treibt. Ist ein vollständiger Klappenschluss in dem unteren Theile derselben thätig, so beschränkt sich die Erscheinung auf den untersten Abschnitt (Pulsation des Bulbus). Arbeiten dagegen die Ventile unvollkommen, so kann sich das Klopfen zum Kieferrande erstrecken. Es kommt in dem ersteren Falle vor, dass sich ein schwächerer Stoss durch die ge-

---

[1]) Bamberger, Würzburger med. Zeitschr. Bd. IV. 1863. S. 232—248, wo auch eine Reihe mit dem Marey'schen Sphygmographen gezeichneter Curven beigegeben sind Vgl. auch Geigel, Ebendas. S. 332—343.

schlossenen Taschen weiter fortpflanzt. Leisten diese hinreichenden Widerstand, so dringt eine grössere Blutmenge in die Herzvenen und in die untere Hohlader. Das Klopfen der letzteren nimmt bisweilen nach KREISIG, SEIDEL [1]) und GEIGEL so sehr zu, dass man es an dem Auf- und dem Niedergange der Baucheingeweide erkennt. GUBLER und VERNEUIL [2]) hatten einen Fall, in dem sich die Pulsschläge bis in die varikösen Schenkelblutadern einer Frau erstreckten und dabei immer die Blutsäule im Augenblicke der Kammerzusammenziehung centrifugal zurückwich.

§. 434. Die Verstärkung des Anschlages des Herzens, welche die Unzulänglichkeit der zweizipfeligen Klappe häufig begleitet, lässt sich nicht für die Annahme eines hierbei thätigen Rückstosses (§. 378) deuten, weil sie zu beträchtlich ist, als dass sie nur von dem Wachsthume des Gegendruckes des gleichzeitig vergrösserten, hier in Betracht kommenden Kammerabschnittes herrührte. Man muss vielmehr die wahrscheinlichste Ursache darin suchen, dass einzelne Theile des Herzens, vorzugsweise der rechten Herzhälfte, hypertrophiren. Dieses stimmt auch mit der Thatsache, dass sich zugleich der Herzstoss weiter nach rechts ausbreitet.

§. 435. Der Kammerdruck theilt sich gewissermaassen in zwei Druckhöhen, von denen die eine die Blutsäule der Schlagadern unmittelbar forttreibt oder als Geschwindigkeitshöhe (§. 158) verbraucht wird und die andere die Arterien erweitert oder als Seitendruck thätig ist. Diese bedingt es, dass die Schlagadern zu ihrem früheren Rauminhalte während der Zeit der Kammererweiterung zurückzukehren suchen und dabei die halbmondförmigen Klappen schliessen. Lässt die unvollkommene Thätigkeit der Atrioventricularklappen einen Theil des Blutes in den Vorhof während der Kammerverkürzung zurückkehren, so geht eben so viel für den Eintritt in die Schlagadern verloren. Die Ausdehnung und die elastische Rückwirkung derselben fallen daher geringer aus, wenn die Widerstände unverändert bleiben. Liegt dagegen der Fehler in den halbmondförmigen Klappen, so suchen der elastische Arteriendruck einerseits und die Zusammenziehung des Vorhofes anderseits Blut in die erweiterte Kammer einzupressen. Der Unterschied der beiden Grössen bestimmt also den Erfolg in wesentlicher Weise. Hat man gleichzeitig Krankheitszustände, welche die Widerstände in dem

---

[1]) Vgl. auch Gazette hebdomadaire. 1865. No. 17. p. 271.

[2]) MAREY a. a. O. p. 530. 531.

Körperkreislaufe vermehren und daher den Seitendruck der Schlagadern steigen lassen, so tritt auch später eine grössere elastische Rückwirkung auf, wenn die Federkraft der Schlagadern regelrecht bleibt. Dieser Umstand begünstigt also die Störungen, die der unvollkommene Klappenschluss hervorruft. Fällt umgekehrt die Seitendehnung geringer aus, so kann es sich ereignen, dass nur Blut in der kurzen Zeit, während alle vier Herzhöhlen erweitert sind (§. 349), in die Kammer zurücksinkt, später dagegen der stärkere Vorhofsdruck jede Störung der Art verhütet. Man sieht hieraus, dass der von einzelnen Praktikern aufgestellte Satz, die Unzulänglichkeit der halbmondförmigen Taschen der Aorta führe zu grösseren Uebelständen, als die der zweizipfeligen Klappe, keine allgemeine Gültigkeit hat.

§. 436. Das hüpfende Klopfen der grösseren Körperschlagadern, auf das Corrigan aufmerksam machte, kommt wahrscheinlich vor, wenn die entarteten halbmondförmigen Aortenklappen so grosse Hindernisse erzeugen, dass die Blutsäule den örtlichen Widerstand erst durch einen raschen Stoss überwindet. Die Schlagadertönung verstärkt sich daher auch in diesem Augenblicke. Der zweite Herzton dagegen fällt um so abweichender oder undeutlicher aus, je weniger sich die veränderte Klappenmasse zu regelmässigen Schwingungen eignet. Der Rückgang des Blutes durch die offen bleibende enge Mündung während der Kammererweiterung endlich kann ein eigenes Reibungs- oder Blasegeräusch hervorrufen [1].

§. 437. Erinnern wir uns der für die Thebesische Klappe gegebenen Erläuterungen (§. 358), so folgt, dass eine theilweise Durchlöcherung oder die Fensterung den Eintritt neuen Blutes nicht beeinträchtigt. Die Lücken können dagegen Flüssigkeitsstrahlen während des Schlusses zurücktreten lassen. Die Grundgesetze der Hydrostatik (§. 15 und 29 fgg.) führen zu dem Schlusse, dass sich die Gesammtsumme dieser Blutsäulen in die Höhle, die sie früher verlassen haben, mit einer Kraftgrösse eindrängt, die dem Gewichte einer Blutsäule gleicht, deren Grundfläche der Summe der Oeffnungsflächen und deren Höhe der Geschwindigkeitshöhe entspricht.

---

[1]) Cardiographische und sphygmographische Curven nach künstlicher Zerstörung der Aortenklappen des Pferdes siehe bei Marey, Physiologie de la circulation. p. 506—510. Fig. 186. 187.

§. 438. Alle Entartungen, welche die Spannung einer Klappe vergrössern oder deren Masse für ausgiebigere Schwingungen empfänglicher machen, lassen den entsprechenden Herzton (§. 383 fgg.) deutlicher und länger erklingen. Blasegeräusche werden sich hinzugesellen, so wie starrere Massen dem Strome hindernd entgegenstehen. Es kann vorkommen, dass man noch den Ton bei dem Anlegen des Ohres an das Schädeldach vernimmt (§. 403 fgg.). Man bemerkt aber auch schon Abweichungen, wenn sich nur die Spannung oder die Beschaffenheit des Blutes durchgreifend ändert, wenn eine verhältnissmässig geringere Menge von Blutkörperchen vorhanden ist oder sich die Durchgangsöffnungen aus irgend einem Grunde beträchtlich verengern. DECHAMBRE und VULPIAN[1]) fanden demgemäss, dass grosse Blutverluste den ersten und oft auch den zweiten Herzton in Hunden pfeifender oder rauher machten, ohne dass die Leichenöffnung den geringsten Klappenfehler nachwies. Bleichsucht und andere Blutleiden haben den gleichen Erfolg.

§. 439. Die endocardialen Reibungs- oder Schwingungsgeräusche, die man bei regelwidrigen Unebenheiten der Blutbahn bemerkt und die nicht selten mit den Körperstellungen wechseln, scheinen oft länger als die gewöhnlichen Herztöne anzuhalten, weil die ihnen zum Grunde liegenden Bewegungen langsamer abklingen oder die Theile, die für die Hörbarkeit nöthige Ausweichungsgrösse längere Zeit bewahren. Die Zahl der Herztöne kann sich unter diesen Verhältnissen mehr als verdoppeln, wenn nicht bloss die Oeffnung der Klappen andere Geräusche als die Schliessung erzeugt, sondern auch die verschiedenen Bezirke einer und derselben Klappe und einzelne andere Gegenden der Hohlräume des Herzens Töne von verschiedenem Klange und ungleicher Dauer hervorbringen. Der einem Hammerschlage ähnliche zweite Ton der Lungenschlagader, den man bei der Unzulänglichkeit der zweizipfeligen Klappe bisweilen bemerkt, erklärt sich aus der Rückstauung, die eine stärkere Füllung des Athmungskreislaufes und daher eine kraftvollere elastische Rückwirkung der Lungenschlagader bedingt. Die sogenannte Spaltung der Herztöne, vorzugsweise des zweiten, bei dem man zwei oder drei kürzere Nachschläge ausser dem längeren Hauptton hört, kommt auch ohne sichtliche Klappenfehler vor. Man findet sie bisweilen neben der Erkrankung der Atrio-

---

[1]) DECHAMBRE und VULPIAN, Gazette hebdomadaire. 1864. No. 25. p. 413.

ventricularklappen, nie aber nach BAMBERGER[1]) bei der Unzulänglichkeit der halbmondförmigen Taschen oder der Verengerung der Ausflussöffnung der Aorta. Die Ansicht, dass mehrere gesonderte Nachstösse der Kammerzusammenziehung oder der regelwidrig beschränkten elastischen Rückwirkung der Schlagadern der Erscheinung zum Grunde liegen[2]), bedarf noch der näheren Prüfung.

---

1) BAMBERGER a. a. O. S. 72—74.

2) M. SCHÄFER, Ueber die Auscultation der normalen Herztöne. Giessen 1860. 8. S. 11—16.

II. Die Schlagadern.

1. Druck und Geschwindigkeit des Schlagaderblutes.

§. 440. Der Wanddruck, mit dem die verkürzte Muskelmasse der Kammern ihren Blutinhalt presst, steigt im Laufe der Zusammenziehung mehr oder minder schnell zu seiner grössten Höhe und fällt hernach steil ab, wenn die Erschlaffung plötzlich eingreift (§. 350). Das Blut, das seiner Unzusammendrückbarkeit wegen (§. 11) auszuweichen sucht, findet die beiden Ausgänge, die Vorhofs- und die Schlagaderöffnung von Klappen geschlossen, deren dünne und nicht musculöse Wände einen geringeren Widerstand als die verkürzten Muskelmassen der Kammern leisten. Da aber die Richtung seiner dabei thätigen Druckwirkung mit der des Schlusses der Atrioventricularklappe (§. 363) übereinstimmt und nur der Oeffnung der halbmondförmigen Klappen (§. 366) entspricht, so macht sie bloss den Eingang zu der Lungenschlagader oder der Aorta frei. Sie arbeitet dabei wie ein Keil mittelst des Vorraumes der Taschen (§. 368) und entleert sie, indem sie sie gegen die Wände der Valsalva'schen Sinus drängt. Dieser Stellungswechsel beginnt in dem Augenblicke, in welchem die Druckgrösse des Kammerblutes so weit angewachsen ist, dass sie den von der elastischen Rückwirkung der Schlagaderwände herrührenden Schlussdruck der halbmondförmigen Klappen und die Starrheit und andere Bewegungswiderstände der Masse derselben überwinden kann. Erschwert also eine beginnende Entartung die Beweglichkeit oder blieben die Schlagadern unmittelbar vorher stärker gespannt, so wird die Oeffnung des Ventiles später, bei rascher ansteigender Kammerverkürzung oder geringerem Gegendrucke der Schlagaderwände dagegen früher beginnen. Die symmetrische regelrechte Form der Taschen erleichtert die Geschwindigkeit der Entleerung derselben.

§. 441. Setzte sich kein Hinderniss dem Fortschritte des von der Kammer ausgepressten Blutes entgegen, so wäre es gleichgültig, ob die Schlagadern starre oder elastische Röhren bildeten (§. 204). Man hat aber ein vorliegendes mit Blut prall gefülltes Röhrensystem, das sich in immer dünnere Aeste theilt und endlich in eine grosse Menge von Haargefässen mit mikroskopischen Querschnitten übergeht. Die Verschiebung seines Inhaltes stösst daher auf bedeutende Widerstände (§. 187 fgg.). Sie verzehren einen Theil der Druckkraft des Kammerblutes, wenn es die vorliegende Blutsäule verdrängen will. Diese rückt daher mit einer um so geringeren Schnelligkeit fort. Die augenblickliche Bewegung entspricht einer Druckgrösse, die wir den Geschwindigkeitsdruck nennen wollen. Da er kleiner als der ursprüngliche Druck ist, so muss auch das in die Schlagadern getriebene Flüssigkeitsvolumen einen kürzeren und bei der elastischen Dehnbarkeit der Wände breiteren Körper bilden. Der Unterschied, den wir den Seiten- oder den Wanddruck nennen wollen, beschwert die elastischen Wände so lange als der Kammerdruck anhält. Denkt man sich diesen auf eine Druckhöhe zurückgeführt (§. 28), so liefert der Geschwindigkeitsdruck die Geschwindigkeits- und der Wanddruck die Widerstandshöhe (§. 158) für die Bewegung des Schlagaderblutes.

§. 442. Marey glaubte gefunden zu haben, dass ein elastisches Rohr, in das man die Flüssigkeit durch periodische Stösse treibt, eine grössere Ausflussmenge als ein starres liefert. Girod-Teulon [1]) suchte dieses aus dem Unterschiede der Reibungseinflüsse zu erklären. Diese nehmen mit der Schnelligkeit der Bewegung zu und ab (§. 173). Erweitert sich das elastische Rohr, so führt die Querschnittsvergrösserung zu einer Verlangsamung des Stromes (§. 158), die ihrerseits eine Reibungsverminderung zur Folge hat. Eine starre Röhre von gleicher Innenfläche und demselben Querschnitt, den die elastische ursprünglich hatte, liefert natürlich einen beständigen und grösseren Reibungswiderstand. Wir haben schon bei Gelegenheit der Haarröhrchenanziehung gesehen (§. 63), welch ausserordentlichen Einfluss scheinbar geringe Unterschiede der Politur der Innenfläche in dieser Hinsicht ausüben. Dieser Umstand dürfte es auch fast unmöglich machen, erfahrungsgemäss zu entscheiden, ob in der That die Reibung eine durchgreifende Verschiedenheit der Ausfluss-

---

[1]) F. Monoyer, Applications des sciences physiques aux théories de la circulation. Strasbourg 1863. 4. p. 22. 23.

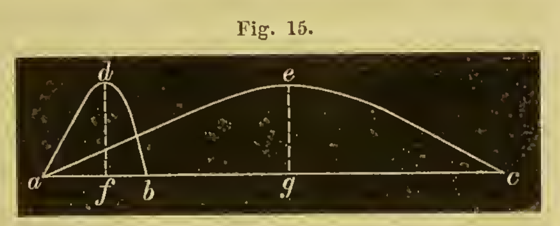
menge eines elastischen und eines starren Rohres bedingt, da es kaum möglich ist, dieselbe Politur in zwei Röhren von ungleichem Material herzustellen. Theoretisch genommen wird sich die durch die langsamere Strömung bedingte Reibungsabnahme verhältnissmässig die längste Zeit geltend machen, wenn der zweite periodische Triebdruck erst auf die Flüssigkeit wirkt, nachdem der Reactionsdruck der elastisch zurückkehrenden Röhrenwände aufgehört hat. Diese Bedingung wird nicht immer in den Körperschlagadern erfüllt.

§. 443. Lässt man auch dieses bei Seite, so sprechen doch noch mehrere andere Gründe dagegen, dass die Elasticität der Arterienwände die Ausflussmenge des Blutes in die Haargefässe wesentlich vergrössert. Eine Schlagader wie die Carotis des Pferdes dehnt sich im Durchschnitt nach POISEUILLE um ungefähr $^1/_{23}$ und die des Hundes nach meinen Erfahrungen um nahezu $^1/_{22}$ aus, wenn die Zusammenziehung der linken Kammer neues Blut eintreibt. Da sich nicht bloss der Querschnitt, sondern auch die Länge vergrössert, so muss die hierdurch erzeugte Geschwindigkeitsabnahme weniger als $^1/_{22}$ bis $^1/_{23}$ betragen. Der gleichzeitig thätige stärkere Herzdruck verdeckt sie meistentheils so vollständig, dass die Schnelligkeit der Bewegung um $^1/_7$ bis $^3/_5$ zunehmen kann, wie wir später sehen werden. Die ausserordentliche Glätte der Innenfläche der Arterien erzeugt eine so geringe Reibung, dass sie selbst bei der grösseren Geschwindigkeit der Blutströmung in den Hauptstämmen immer noch unbedeutend bleibt. Nimmt die Berührungsfläche mit der Verkleinerung der Querschnitte der untergeordneten Arterienzweige zu (§. 59), so sinkt dafür auch die Schnelligkeit, so dass diese beiden Einflüsse einander entgegenarbeiten.

§. 444. Macht eine krankhafte Veränderung die Schlagaderwände starrer und unebener, setzen sich z. B. Verkalkungsmassen in ihnen ab, so können die Einflüsse der Reibung und der Strudelbildung (§. 126 u. 186 fgg.) wesentliche Nachtheile bedingen. Die vererdeten Bezirke werden mehr in der Form von starren und die noch dehnbaren Zwischenstücke nicht selten als nachgiebige, aber nicht vollkommen elastische Röhrentheile wirken. Dieses, die Reibung und die Wirbel müssen die Ausflussmenge in die Haargefässe verkleinern und zugleich Widerstände erzeugen, die auf das Herz zurückwirken (§. 424). Ernährungsstörungen der Gewebe, in denen sich die verknöcherten Schlagadern verbreiten, und eine Hypertrophie der linken Herzkammer können daher ausgedehnten Schlagaderverknöcherungen nachfolgen.

§. 445. Wir glauben bei dem Fühlen des Pulses wahrzunehmen, dass eine kurze Erhebungswelle mit jeder Kammerverengerung längs des Schlagadersystemes rasch dahingleitet. Betrachtet man aber die blossgelegten Gefässe eines lebenden Geschöpfes, so bemerkt man keineswegs, dass eine auf eine kleine Längsstrecke beschränkte Erweiterung schnell fortrollt. Die Tastempfindung erzeugt vielmehr eine Sinnestäuschung, die E. H. WEBER[1]) mit Recht hervorgehoben hat. Wir verwechseln hier die Dauer und die Grösse mit einander. Indem eine längere Erweiterungssäule in einem kleinen Zeitraume vorübergeht, also auch die Querschnittsänderung an dem Anfange und dem Ende schnell durchgreift, leiten wir den Eindruck von einer kurzen, steil ansteigenden und rasch abfallenden Erhebungswelle her. Man kann sich von der Richtigkeit dieses Ausspruches an der blossgelegten Halsschlagader des Kaninchens überzeugen. Das Auge sieht nur die An- und die Abschwellung und die bisweilen vorkommende Seitenbewegung oder Krümmung an der ganzen frei gemachten Strecke gleichzeitig. Der angelegte Finger dagegen fühlt die dahinrollende Pulswelle, wie an der Speichenschlagader des Menschen. Die Wellenformen, welche die verschiedenen Pulszeichner aufschreiben, widerlegen keineswegs diese Auffassungsweise. Sie würden nur dann ein richtiges Bild der Schlagaderwellen liefern, wenn sich der Cylinder des Kymographion (§. 329) so rasch drehte, dass das Papier eben so schnell an dem Zeichenstifte dahingleitete, als die Blutwelle an der zum Aufschreiben dienenden Zwischenvorrichtung. Da er sich aber immer langsamer bewegt, so fallen die Abscissen ab und ac der Pulscurven adb und aec, Fig. 15, um so kürzer aus, je kleiner die Winkelgeschwindigkeit des Cylinders ist. Sie müssen zugleich steiler werden, weil die grösste Erhebung oder der Maximalwerth der Ordinate df und eg derselbe bleibt. Man darf aber nicht den Gang zweier verschiedenen Curven adb und aec wechselseitig vergleichen, wenn man nicht im Stande ist, dem Einflusse der Zeitabscissen ab und ac Rechnung zu tragen.

Fig. 15.



§. 446. Es wurde schon §. 35 und §. 204 erläutert, wesshalb die von ihrem Blutinhalte gespannten Blutgefässe unseres Körpers

[1]) E. H WEBER, Müller's Arch. 1851. S. 537.

kreisförmige Querschnitte annehmen, wenn sie die gleiche Dehnungsfähigkeit an allen Punkten ihres Umfanges besitzen, sonst dagegen andere Formen darbieten. Eine theilweise Erweichung oder Erhärtung wird daher jene regelmässige Gestalt aufheben. Obgleich die gesunden Gefässe kreisrund zu sein scheinen, so lässt doch der Bau ihrer Wände erwarten, dass schon hier untergeordnete Verschiedenheiten auftreten werden. Bildeten die Schlagadern elastische Röhren, die sich nur der Quere nach erweitern liessen, so würde sich die Formveränderung, welche die neu eingetriebene Blutmasse erzeugt, einfacher gestalten, als unter dem in der Wirklichkeit vorhandenen Verhältnisse, dass sie sich nach allen Durchmessern des Raumes dehnen. Wie es der Wahrheit nicht entspricht, wenn man Längs- und Querfasern der Schlagaderwände annimmt, sondern die elastischen faserigen und häutigen Elemente derselben unter den verschiedensten Neigungswinkeln zur Achse und zwar meist schraubenförmig herumgehen, so beruhte es auch demgemäss auf einer künstlichen Zerlegung, wenn man eine Längsdehnung von einer Quererweiterung der Schlagadern trennen wollte. Diese zwei Componenten ändern sich aber mit der Gewebvertheilung, die selbst wiederum mit der Verschiedenheit der Schlagadern und der der Individuen für dasselbe Gefäss wechselt. Füllte ich z. B. ein senkrecht gehaltenes Stück der Halsschlagader eines Hundes zuerst mit Wasser und dann mit Quecksilber, so vergrösserte sich sein Rauminhalt in dem zweiten Falle um $^4/_5$. Die Länge nahm dabei ungefähr um $^1/_4$ und der Durchmesser beinahe um $^1/_5$ zu. Trieb VOLKMANN [1]) bekannte Wassermengen unter nahezu gleichem Drucke in die Arm- oder die Hüftschlagader des Menschen, die Aorta desselben, die des Hundes oder des Kaninchens, die Carotis der Ziege oder des Rindes, so ergab sich, dass sich die Längenausdehnung zur Breitenvergrösserung, wie 0,43 bis 0,83:1 verhielt. Die Armvene, die Hüftblutader eines Menschen und die untere Hohlvene eines Hundes dagegen gaben 1,22 bis 1,36:1. HARLESS [2]), MUSRPATT und ELVEN endlich fanden keinen wesentlichen Unterschied des Elasticitätsmoduls der Aorta einer Frau für die Längs- und die Querrichtung. Da die Schlagadern des lebenden Körpers immer länger als breit sind, so wird der gleiche Zug eine stärkere Verlängerung als Verbreiterung bei derselben verhältnissmässigen

[1]) A. W. VOLKMANN, Die Haemodynamik nach Versuchen. Leipzig 1850. 8. S. 423.
[2]) HARLESS in. Canstatt's Jahresbericht. 1853. Bd. I. S. 154.

Dehnung erzeugen, wenn die Nachbartheile die Freiheit der Wirksamkeit nicht beeinträchtigen.

§. 447. Wechselt auf diese Weise die Gestaltänderung eines Schlagaderbezirkes, die die neu eingetriebene Blutmasse erzeugt, mit dem Unterschiede der nach den verschiedenen Raumesrichtungen ungleichen Dehnungsfähigkeit, so kommen noch drei andere Bedingungsglieder für das Endergebniss in Betracht. Da nur der Wanddruck den Formenwechsel bestimmt (§. 204), so fällt zunächst die Grösse von beiden um so kleiner aus, je geringere Widerstände der Fortbewegung des Blutes entgegentreten oder einen je bedeutenderen Theil des Gesammtdruckes der Geschwindigkeitsdruck (§. 441) ausmacht. Die Krümmungen und die Verzweigungen der Schlagadern und die Befestigungsweise derselben können es bewirken, dass sich die Dehnungsgestalt mit der Verschiedenheit des Druckes ändert. Sie weicht auch demgemäss in den verschiedenen Bezirken des gesunden oder des kranken Körpers ab. Hat man z. B. eine gerad verlaufende Schlagader, wie die Carotis, in der Mitte frei gemacht, so bleibt sie unter schwachen Druckwirkungen gerade, krümmt sich aber unter stärkeren, weil sie sich dann beträchtlicher verlängert, an den beiden Enden dagegen noch durch ihre natürlichen Anheftungen befestigt wird. Die Biegungen der Pulsadern können aus demselben Grunde unter stärkerem Wanddrucke weniger gekrümmt und die Theilungswinkel je nach Verschiedenheit der Verhältnisse vergrössert oder verkleinert werden. Sind die Schlagaderwände nicht innerhalb der Grenzen der thätigen Spannungen vollkommen elastisch, was wahrscheinlich schon in einzelnen Arterien des gesunden Körpers, unzweifelhaft aber bei Erkrankungen vorkommt, so muss sich die Gestalt mit der Grösse des Druckes ändern. Derselbe Unterschied zweier thätigen Pressungen wird einen kleineren Formenwechsel erzeugen, wenn beide absolut genommen stärker, als wenn sie schwächer sind. Man darf endlich nicht vergessen, dass der auf den Schlagadern von aussen lastende Druck der Nachbartheile als Gegenkraft gegen den Wanddruck des Blutes wirkt und die Grösse und die Form der Erweiterung bestimmen hilft. Athmet z. B. der Mensch tief ein oder aus, so können desshalb merkliche Verschiedenheiten für die Pulsadern in und ausserhalb der Brusthöhle auftreten. Der freie Theil der Halsschlagader wird eine andere Gestaltänderung liefern, als der in dem Carotidencanale verlaufende Abschnitt, der innerhalb eines eigenen von Rektorzik beschriebenen Venensinus spielt, und die in der geschlossenen

Schädelhöhle dahingehenden Aeste der Hirnschlagader. Die Summe aller dieser Einflüsse bestimmt dann die Endgestalt nach den §. 203 bis §. 211 erläuterten Wirkungen elastischer Röhrenwände.

§. 448. Denken wir uns, zwei unmittelbar folgende Herzschläge glichen einander in jeder Beziehung, so öffnet der Kammerdruck des zweiten die halbmondförmigen Taschen früher, als er seine grösste Höhe erreicht hat (§. 440). Er treibt von nun an das Blut in die Schlagadern eine Zeit lang mit stetig wachsender und meist später mit abnehmender Beschleunigung. Man hat dann eine erste Periode des immer zunehmenden Geschwindigkeitsdruckes und demgemäss eine geringere Erweiterung der elastischen Röhren. Die Trägheit (§. 25) der in schnellere Bewegung gesetzten Blutmasse lässt die Geschwindigkeit in dem zweiten Zeitraume weniger sinken, als es ohne diesen Nebenumstand der Fall wäre. Die Zusammenziehung des Herzens begünstigt die Fortbewegung des Blutes mehr als den vorläufigen Thätigkeitsverlust, der für die Widerstände und den Formenwechsel des Rohres aufgezehrt wird. Da aber dieser nicht nur den Schluss der halbmondförmigen Klappen, sondern auch das Fortrücken der Blutsäulen in peripherischer Richtung zur Zeit der Kammererschlaffung bedingt, so hat man keinen Arbeitsverlust, sondern nur eine Arbeitstheilung, die das Blut rascher während der Zusammenziehung, als während der Erweiterung der Ventrikel strömen lässt. Die Systole der Schlagadern entspricht daher der Diastole der Kammern und umgekehrt. Da die Schnelligkeit des arteriellen Blutstromes im Laufe der Kammerzusammenziehung zuerst steigt und später um so geschwinder abfällt, je rascher die Erschlaffung durchgreift, so hat man hier zwei Geschwindigkeitsperioden. Die Zeit der Kammererweiterung oder die der Schlagaderverengerung dagegen bietet nur eine dar. Der erste Augenblick erzeugt eine so beträchtliche Raumverminderung, dass sich die halbmondförmigen Taschen sogleich schliessen. Der Wanddruck und mit ihm die Geschwindigkeit nehmen von nun an stetig ab, bis eine neue Kammerverkürzung eingreift.

§. 449. Man kann sich jeden Schlagaderzweig als ein unter einem bestimmten Winkel eingesetztes Manometer (§. 24) denken, auf das die Strombahn mit voller Druckkraft wirkt und daher die Flüssigkeitssäule desselben nach Maassgabe des Widerstandes verrückt (§. 161 fgg.). Da im Allgemeinen die Drucke in den grösseren Hauptstämmen beträchtlicher als die Widerstände in den kleineren Zweigen ausfallen, so fliesst das Blut aus jenen in diese, wenn

nicht die Einschaltung fester Körper neue unüberwindliche Hindernisse schafft. Manche Forscher des vorigen Jahrhunderts und unter diesen VIEUSSENS, THEBESIUS (1708), BOERHAVE [1]), selbst in früherer Zeit (1736) HALLER [2]) und in neuerer BRÜCKE glaubten aus den anatomischen Verhältnissen schliessen zu können, dass die halbmondförmige Klappe, die dem vorderen oder dem rechten Valsalva'schen Sinus gegenüberliegt, die Mündung der rechten und die, welche dem linken Sinus entspricht, die Oeffnung der linken Kranzschlagader des Herzens im Augenblicke der Kammerzusammenziehung deckt. Das Blut könne daher erst nach dem Schlusse dieser Arterientaschen durch den Druck oder die Selbststeuerung des Herzens oder der Schlagaderwände in die Arterien der Herzmasse strömen. Die Untersuchungen, die man an dem todten Herzen anstellt, lehren aber, dass die Klappenränder nicht bis zu den Oeffnungen der Kranzschlagadern hinaufzureichen pflegen. Findet man auch ausnahmsweise das Gegentheil in der blutleeren Aorta eines Menschen, so folgt hieraus noch nicht, dass das Gleiche für das gefüllte Gefäss wiederkehrt. Die Streckung des Aortenbogens (§. 379) kann überdies die Verhältnisse ebenfalls ändern. Die Einspritzung von den Lungenvenen oder dem linken Vorhofe aus füllt die Kranzschlagadern. LANCISI und HALLER, so wie in neuerer Zeit KORNFELD und viele Andere sahen auch, dass der aus einer verletzten Kranzschlagader tretende Blutstrahl im Augenblicke der Zusammenziehung der Kammer höher als in dem der Erschlaffung steigt. HYRTL, RÜDINGER, MIERSWA und BOJANOWSKI [3]) erklärten sich daher gegen die Anwesenheit einer Selbststeuerung nach anatomischen und physiologischen Untersuchungen der Verhältnisse. Die Zusammenziehung der Kammern wird den Blutlauf in den oberflächlich verlaufenden Kranzschlagadern nicht unmittelbar beeinträchtigen, dagegen den Wanddruck derselben um so mehr erhöhen, je stärker sie den Blutlauf in den tieferen Zweigen hemmt. Die elastische

---

[1]) Siehe HALLER, De p. c. h. f. Tom. II. p. 206—208. Vgl. auch H. T. BARON, An dum cor contrahitur, dilatentur Arteriae coronariae. 1741. HALLER, Disput. anat. p. 441—448. Vol. II. 1747. 4.

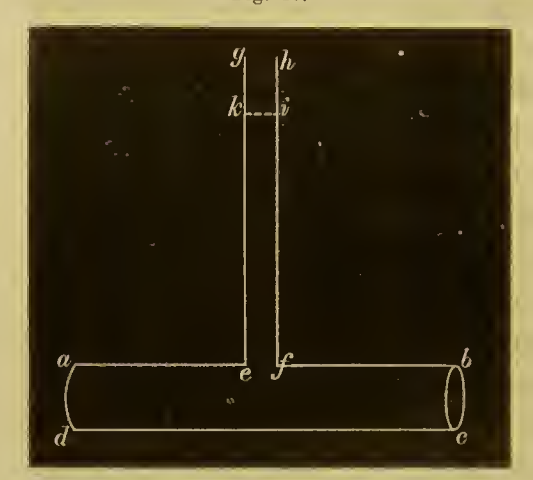
[2]) D. W. SCHMIDT, Diss. de motu sanguinis per cor. (Praeside HALLER.) Gottingae 1737. 4. p. 16. Abgedruckt in ALB. v. HALLER, Opera minora. Tom. I. Lausannae 1763. 4. p. 54, doch ohne die bezügliche Stelle. Er verwirft dagegen ausdrücklich die Vieussens'sche Ansicht. Ebendas. p. 19. 20.

[3]) Vgl. hierüber CANSTATT's Jahresbericht für Biologie. 1855. S. 87. 1858. S. 9 1859. S. 6 und 37. 1861. S. 125.

Rückwirkung kann daher das Blut schneller durchtreiben, so wie die durch die verkürzten Muskelfasern erzeugte Beengung aufhört. Jenes wird dann nachholen, was es durch die Stauung versäumen musste. Die feineren Blutgefässäste des Herzens liefern hiernach einen grösseren Geschwindigkeitswechsel als die der übrigen Körpertheile.

§. 450. Da es zunächst nur auf die Bestimmung der hydrostatischen Druckhöhen (§. 24) ankommt (§. 28 u. 158 fgg.), so verfuhr der erste Forscher auf diesem Gebiete, STEPHAN HALES[1]) folgerichtig, als er den Werth derselben durch die Einfügung eines Druckmessers (§. 172) zu bestimmen suchte. Er schob eine gekrümmte Kupferröhre in eine grössere Schlagader und befestigte an jene ein senkrechtes Glasrohr mittelst eines kupfernen Zwischenstückes. Ist abcd Fig. 16 das Blutgefäss und efgh der Druckmesser, so steigt in diesem das Blut, abgesehen von allen Nebenstörungen, empor, bis seine Druckhöhe fi oder ek das Gleichgewicht dem in ef stattfindenden Blutdrucke hält. HALES[2]) fand z. B. auf diese Weise, dass sich das Blut der Schenkelschlagader eines Pferdes bis zu einer Höhe von 9 englischen Fussen und 8 Zollen allmälig hob und um 1 bis 3 Zoll während eines jeden Herzschlages auf- und niederging. Diese Erfahrung, die sich auch an dem Rinde, dem Schaafe, dem Dammhirsche und dem Hunde im Wesentlichen bestätigte, bereicherte die Wissenschaft mit zwei wichtigen Lehrsätzen. Sie zeigte, dass ein starker Druck des Schlagaderblutes fortwährend anhält und der Wechsel der Zusammenziehung und der Erschlaffung der Kammer nur untergeordnete Schwankungen zur Folge hat, da diese $^1/_{116}$ bis $^1/_{39}$ der dauernden Spannungsgrösse in dem oben erwähnten Beispiele betrugen.

Fig. 16.



[1]) ETIENNE HALES, Haemastatique ou la Statique des animaux: expériences hydrauliques faites sur des animaux vivants. Traduit par DE SAUVAGES. Genève 1744. 4. p. 1. 2.

[2]) HALES, Ebendas. p. 11.

§. 451. Die Erklärung dieser Erscheinungen ergibt sich aus den §. 3 angedeuteten Beziehungen. Giesst eine Kammerverkürzung mehr Blut in das gefüllte Schlagadersystem, als in die Haargefässe gleichzeitig übertritt, so muss der Ueberschuss die Schlagaderwände beschweren. Hat die Verkürzung aufgehört, so treibt die elastische Rückwirkung der Arterienwände und die grössere Spannung derselben überhaupt Blut in die Haargefässe und die Venen über. Der Druck des Arterienblutes sinkt daher. Da aber eine neue Kammerzusammenziehung eingreift, ehe er bedeutend abgenommen hat, so beträgt diese systolische Druckschwankung nur einen kleinen Bruchtheil der bleibenden Spannung des Schlagaderblutes. Steht das Herz still, so treibt diese Blut aus den Arterien bis zur Druckausgleichung, bis also die Spannung so weit gesunken ist, dass sie die Widerstände in den Haargefässen und den Blutadern nicht mehr überwinden kann. Dieser übrig bleibende Rest heisst die Spannung des ruhenden Blutes[1]). Fielen alle Hindernisse in den vorliegenden Blutgefässen fort, so würden sich die Schlagadern so lange verengern, als es der elastische Widerstand ihrer Wände (§. 446) und der äussere Druck der Nachbartheile gestattet.

§. 452. Es wäre schon unbequem, so lange Röhren, als sie die Blutsäulen fordern, zu gebrauchen. Die Gerinnung des Blutes kann es auch hindern, dass die Drucksäule ihre volle Höhe erreicht und sich die systolischen Schwankungen in wahrheitsgetreuer Breite wiedergeben[2]). Wollte man dieses Verfahren anwenden, so sollte man die Röhre zuerst mit einer Lösung von unterkohlensaurem Natron füllen und das Blut in diese strömen lassen (§. 249). POISEUILLE erleichterte die Versuche in wesentlicher Weise, als er die Druck-

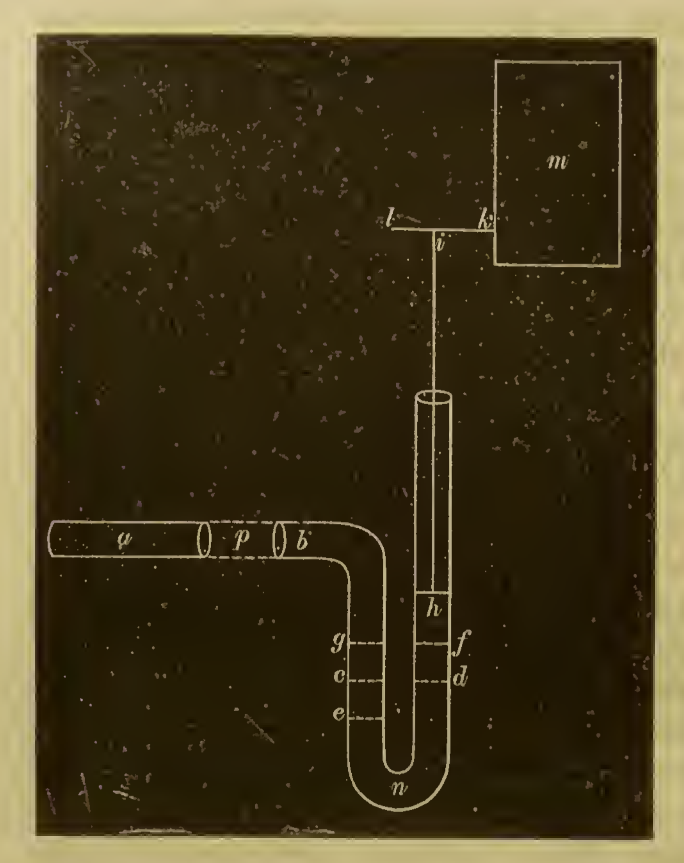
---

[1]) LUDWIG und BRUNNER, Henle und Pfeuffer's Zeitschrift. Neue Folge. Bd. V. 1854. S. 336—352.

[2]) Einzelne Werthe, die HALES erhalten hat, sind dessenungeachtet eher zu gross als zu klein. Nehmen wir an, dass 39,371 Zoll des zwölftheiligen englischen Fusses einem Meter entsprechen und führen die Werthe der Blutsäulen auf Quecksilberdruck nach den §. 450 angegebenen Zahlen zurück, so gab die Schenkelschlagader eines Dammhirsches 98, die von Hunden 73 bis 186 und die Halsschlagader eines Schaafes 152 Millimeter Quecksilber. SAUVAGES erhielt ähnliche Zahlen für die Schenkelschlagader und die Aorta von Hunden. Während wir diese Werthe nach unseren jetzigen Kenntnissen für regelrecht bis zu klein halten müssen, fand HALES in der Schenkelschlagader eines Pferdes 228, in der einer ersten Stute 176 und in der Halsschlagader einer zweiten 224 Millimeter Quecksilber, oder Zahlen, die andeuten, dass starke Ausathmungen gleichzeitig einwirken.

messung mit Quecksilber durch seinen Blutkraftmesser oder sein Hämodynamometer möglich machte. Da das Quecksilber 12,95 Mal so schwer als das Blut ist, so wird eine um eben so viel kürzere Drucksäule dem Blutdrucke das Gleichgewicht halten (§. 24). Obgleich die absolute Verrückung des Quecksilbers nur $\frac{1}{2 \times 12{,}95}$ oder $\frac{1}{25{,}9}$ an jeder Seite einer zweischenkeligen überall gleich weiten Röhre beträgt, so kann man doch das Hämodynamometer nur bis auf $^1/_{13}$ der Blutsäule verkürzen, weil das Quecksilber um eben so viel in dem zweiten Schenkel steigt, als es in dem ersten sinkt. Man würde z. B. mit einer Gesammtlänge von etwas mehr als 9 Zoll statt einer solchen von mehr als 9 Fuss und 8 Zoll, wie Hales sie für das Pferd brauchte (§. 450), auskommen können. a Fig. 17 sei die Schlagader und b das wagerechte, durch eine passende Zwischenvorrichtung mit ihr verbundene Manometer von überall gleich grossem kreisförmigem Querschnitte, in welchem das Quecksilber im Gleichgewichtsniveau c und d steht. Drückt das Blut den an es stossenden Quecksilberspiegel von c bis e hinab, so geht d um eben dieselbe Entfernung bis f hinauf. Es ist also nach dem Gesetze des hydrostatischen Gleichgewichtes (§. 24) eben so gut, als wenn eine Säule eg, deren Höhe das Doppelte von ce oder df beträgt, auf dem Spiegel von e lastete. Der positive Druck beträgt daher das Zweifache der Grösse, um die das Quecksilber in dem absteigenden Manometerschenkel hinuntergeht oder von der, um welche es sich in dem aufsteigenden hebt. Ein negativer Druck (§. 137) oder

Fig. 17.



ein Ansaugen wird eben so das Quecksilber um die Hälfte seines Werthes in dem näheren Schenkel steigen und in dem entfernteren fallen lassen. Man verdankt auch noch POISEUILLE die Entdeckung, dass die Einschaltung einer Lösung von unterkohlensaurem Natron zwischen dem Quecksilberspiegel c und dem in a befindlichen Blute die Gerinnung desselben nachdrücklicher als jedes andere Neutralsalz verzögert (§. 249). Man kann daher den Versuch mit Hülfe dieses Zwischenmittels längere Zeit ohne Gerinnungsstörung fortsetzen [1]).

---

[1]) Das Cardiometer von MAGENDIE besteht aus einem Gefässe, das zum Theil mit Quecksilber gefüllt und bis auf eine freie senkrechte Durchgangsröhre und das Einführungsrohr, auf das der Blutdruck wirkt, geschlossen ist. Dieser treibt daher Quecksilber in der Durchgangsröhre empor. Die Vorrichtung hat alle Nachtheile des Blutkraftmessers und begünstigt die §. 457 erläuterte Täuschung eines zu grossen Druckes wegen eines plötzlichen Anfangsstosses. MAREY (Physiologie de la circulation p. 144) versah das Cardiometer mit einer doppelten Steigröhre, einer dünneren gewöhnlichen und einer dickeren, die eine capillare Verengerung an einer Stelle hat und daher die systolischen Druckschwankungen der Reibung wegen nicht angibt. Man darf nicht glauben, dass diese den Mitteldruck des Blutes vollkommen richtig anzeigt. Die Reibungshindernisse werden stets eine gewisse Menge desselben aufzehren.

Das Differentialmanometer besteht in einer zweischenkeligen, überall gleich weiten cylindrischen Röhre, deren beide oberen Enden wagerecht nach vorn gebogen sind und die man zum Theil mit Quecksilber gefüllt hat. Jedes der zwei Endstücke wird auf die gewöhnliche Weise mit einer Schlagader verbunden. Man erhält daher den Druckunterschied, nicht aber die absoluten Druckwerthe. Die Eigenschwankungen des Quecksilbers (§. 25) vergrössern hier den Druck auf der einen und verkleinert ihn auf der anderen Seite. Sie führen also den doppelten Werth ihrer einseitigen Ausweichung als Fehlergrösse in den gesuchten Unterschied der beiden Blutdrucke ein.

VOLKMANN (a. a. O. S. 146) hat die Einrichtung des Sympiezometers zur Bestimmung der Spannung des Blutes benutzt. Denken wir uns eine oben geschlossene, überall gleich weite und mit feuchter Luft gefüllte cylindrische Röhre sei in ein Blutgefäss end- oder wandständig (§. 456) eingesetzt, so wird die Blutsäule steigen, bis sich ihr Druck und der elastische Gegendruck der zusammengepressten Luft das Gleichgewicht halten. Lassen wir die bald zu erwähnenden ändernden Nebenbedingungen unbeachtet, so gibt das Mariotte'sche Gesetz (§. 10) das Verhältniss: $b + d : b = h : h'$, wenn b den gleichzeitigen Barometerstand, d den Blutdruck, h die Länge der ursprünglichen und h' die der zusammengedrückten Luftsäule bezeichnet. Daher:

$$d = b\left(\frac{h}{h'} - 1\right) \tag{79}$$

Nennt man h'' die Länge der Blutsäule, die eintreten kann, so wird $h'' = h - h'$, wenn die Luft das ganze Cylinderrohr vor dem Versuche ausfüllte oder

$$h'' = \frac{h}{1 + \frac{b}{d}} \tag{80}$$

Die Länge der eindringenden Blutsäule wächst also mit dem Blutdrucke und der ursprünglichen Länge der Luftsäule und umgekehrt, wie der gleichzeitige Barometer-

Schwankt die Mischung von Blut und Natronlösung auf und nieder, so kann dieses eine Aenderung des Gleitungscoëfficienten zur Folge haben.

§. 453. LUDWIG vervollkommnete das Verfahren in wesentlicher Weise, indem er die in der Physik gebräuchliche graphische Darstellung, welche PONCELET und MORIN zuerst für die Fallbewegungen und DUHAMEL für die Schwingungen einer elastischen Feder in die Wissenschaft eingeführt hatten, physiologisch verwerthete. Der freie Quecksilberspiegel d oder f Fig. 17 trägt einen Schwimmer h, dessen senkrechter Stab hi eine wagerechte Schreibvorrichtung führt, deren Ende k ihre Stellung an einem Cylinder m aufzeichnet, welchen ein Uhrwerk um seine senkrechte Achse mit möglichst gleichförmiger Geschwindigkeit drehen kann. Man nennt diesen Wellen-

---

stand. Setzen wir z. B. diesen letzteren 760 Mm. und den Blutdruck 150 Mm., so wird die Blutsäule nahezu $^1/_6$ und die Luftsäule $^5/_6$ nach der vollständigen Zusammendrückung oder z. B. jene 164 Mm. für 1 Meter ursprüngliche Luftlänge betragen. Fand VOLKMANN (a. a. O. S. 148) als annähernden gewöhnlichen Werth 180 Mm. für $h = 1$ Meter, so gibt hierfür (79) den Werth von 167 Mm. Blutdruck für $b = 760$, da dann $h' = 820$ Mm. war.

Man könnte auf dieselbe Weise eine Vorrichtung herstellen, wie sie das verkürzte Barometer der Luftpumpen bildet, oder auch ein Differentialmanometer anfertigen, wie dieses von BELANGER (HAGEN, Wasserbau. Th. I. S. 225. 226) für Wasserleitungen durchgeführt worden. Man denke sich zwei senkrechte Manometerröhren, von denen jede mit einer Schlagader verbunden ist, so werden beide Blutsäulen nach Maassgabe der Spannung der zwischen ihnen befindlichen zusammengedrückten Luft emporsteigen. Enthielte das Bogenstück einen Hahn, durch den man einen Theil der letzteren austreten lassen könnte, so wäre man im Stande, mehrere Controlversuche nach einander anzustellen.

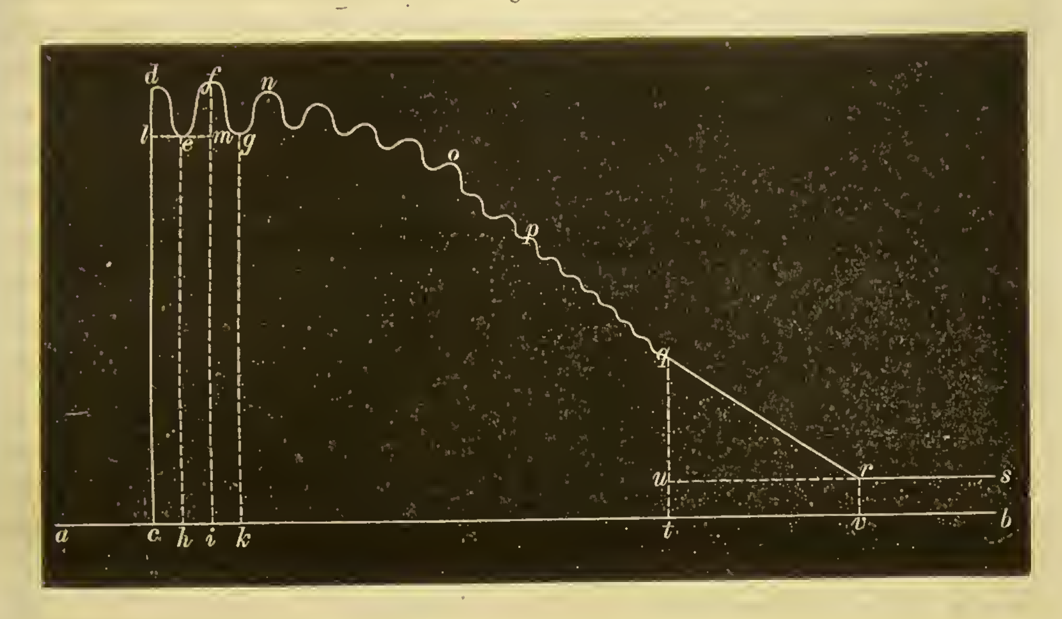
Das ganze Verfahren hat den Nachtheil, dass kleine Ablesungsfehler verhältnissmässig grosse Irrungen in den Druckberechnungen erzeugen. Denn setzen wir in (79) das eine Mal d für den richtigen Werth h' und das andere Mal d' für den fehlerhaften $h' \pm \alpha$, so erhalten wir:

$$d' - d = b \frac{h}{h'\left(1 \pm \frac{h'}{\alpha}\right)} \qquad (81)$$

Man sieht hieraus, dass ein kleines α in hohem Grade stört. Die beiden oben angeführten Beispiele lehren auch, dass ein Ablesungsunterschied von einem Millimeter einen Druckunterschied von mehr als einem Millimeter Quecksilber erzeugt. Der Vortheil, den die grossen Ausschläge der Blutsäule bei offener Röhre für die Ablesung geben, schlägt also hier in das Entgegengesetzte um. Dazu kommt noch, dass sich die Spannung der zusammengedrückten Luft nach dem Zutritte des Blutes ändert, weil dieses wärmer ist, es überdies als Salzlösung andere Elasticitätswerthe seiner Dämpfe als das Wasser gibt (§ 282) und Sauerstoff trotz seiner arteriellen Beschaffenheit aufnehmen und Kohlensäure ausscheiden kann.

zeichner das Kymographion. Da das zwischen dem Gefässe a und dem Manometer b befindliche Zwischenrohr p einen Hahn be-

Fig. 18.



sitzt, so kann man den Blutdruck erst zu einer beliebigen Zeit auf das Quecksilber wirken lassen.

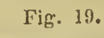
§. 454. Ist der Hahn geschlossen, bleibt also die Quecksilbersäule unverändert, so zeichnet die Spitze k Fig. 17 eine gerade Linie ab Fig. 18 auf dem sich drehenden Cylinder m Fig. 17 auf. Gleiche Längen derselben entsprechen gleichen Zeiten, wenn die Umdrehung mit gleichförmiger Geschwindigkeit vor sich geht. Wir wollen daher ab die Zeitabscisse nennen. Stellt man hierauf das Uhrwerk, so dass der Cylinder m Fig. 17 in Ruhe bleibt, wenn z. B. k die gerade Linie ac aufgezeichnet hat, und öffnet den Hahn, so dringt das Blut von a nach b Fig. 17 vor und treibt k mittelst seiner bleibenden Spannung (§. 451) senkrecht empor, so dass sich die Linie cd Fig. 18 als Ausdruck derselben aufzeichnet. Der Herzschlag lässt aber die Spitze k innerhalb der geraden Linie cd auf- und niedergehen. Giebt man jetzt das Uhrwerk frei, so dass sich der Cylinder dreht, so zeichnen sich die systolischen Schwankungen in der Form der Wellen de, ef, fg Fig. 18 auf. de oder fg entspricht der diastolischen Senkung, der Erweiterung der Herzkammer oder der Verengerung der Schlagadern und ef der systolischen Hebung, der Ventrikelverkürzung oder der Arterienerweiterung. d bildet den grössten Höhen- und e den grössten

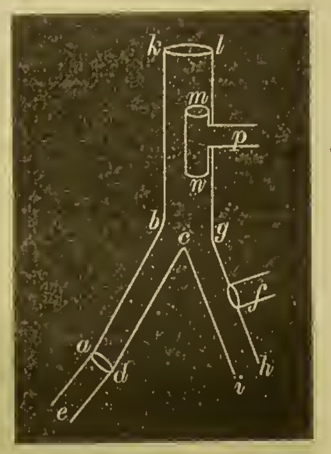
Tiefenstand. Der Theil ch der Zeitabscisse ab bestimmt die Dauer der diastolischen Druckabnahme de und eben so hi die der systolischen Druckvergrösserung. Die Druckordinate cd entspricht der halben Grösse (§. 452) der bleibenden Spannung. Sie beträgt also z. B. 75 Millimeter, wenn jene 150 gleicht. Zieht man die wagerechte Linie lem, die also der Zeitabscisse ab parallel geht, so gibt der Unterschied der Druckordinate des Höhenstandes dc und des Tiefenstandes he oder die Länge dl die Gesammtgrösse der diastolischen Senkung de und eben so fm die der systolischen Hebung ef. Man bestimmte häufig den Mitteldruck, indem man das arithmetische Mittel aus der Summe der grössten Höhen- und Tiefenstände einer Reihe von Herzschlägen nahm oder diesen Werth auf dem Versuchswege unmittelbar zu finden suchte. Dieses Verfahren hat keine Berechtigung, weil die Höhenbewegung einen anderen Gang einschlägt und auf andere Widerstände stösst als die Senkung. Man darf daher nur dann von einem Mitteldrucke sprechen, wenn es sich bloss um die Betrachtung ungefährer grober Annäherungswerthe handelt.

§. 455. Liesse man das Thier verbluten, so würde der Herzschlag schwächer werden und die bleibende Spannung des Blutes immer mehr sinken. Man erhielte daher z. B. die abfallende Curve nopq Fig. 18, so dass bei q der Herzschlag aufhörte. Die bleibende Spannung wird aber dann noch Blut aus den Schlagadern treiben. Geschieht dieses gleichförmig, so dass die Abspannung in demselben Verhältnisse wie die Zeit wächst, so zeichnet sich die gerade Linie qr auf. Man hat später die Gerade rs, die aber der Spannung des ruhenden Blutes wegen höher verläuft als die ursprüngliche Zeitabscisse ab. Zieht man die Linie ru parallel ab, so gibt tq die halbe Grösse des bleibenden Druckes am Ende des letzten Herzschlages, qu die der Entspannung der Schlagadern nach demselben und rv die des ruhenden Blutes.

§. 456. Man kann die Verbindungsröhre mit dem Manometer in das Blutgefäss in zweierlei Weise einfügen. Bringt man sie in dem getrennten Querschnitte da des Schlagaderzweiges bcda wie e oder endständig an, so hemmt man den freien Blutlauf bis bc. Man erhält also nur den bc entsprechenden Wanddruck plus dem durch die Schwankungen der Quecksilbersäule des Manometers möglichen, also in hohem Grade beschränkten Geschwindigkeitsdruck. Fügt man dagegen f in eine Oeffnung gh der Seitenwand ghi oder wandständig ein, so kann man den Seitendruck ohne

durchgreifende Störung erhalten. HALES[1]) versuchte schon dieses zweite Verfahren, um dem Einwande zu begegnen, dass die endständige Einfügung in eine grössere Schlag- oder Blutader den Blutlauf in einem umfangreichen Gefässbezirke hemmt und daher den Druck regelwidrig erhöht (§. 158 fgg.). Er umgab die Halsschlagader eines Hundes mit zwei herumgelegten Halbcylindern, die er verkittete und von denen der obere eine Oeffnung hatte, durch welche man die Schlagader anstach und in die man dann unmittelbar darauf den Druckmesser einfügte. Es ergab sich auf diese Art eine Spannungsgrösse, die wir heute als einen Druck von 116 Millimeter Quecksilber bezeichnen würden. LUDWIG, SPENGLER und ich bedienten sich später eigenthümlicher Seitenansätze zu dem gleichen Zwecke und VOLKMANN einer Canüle mn, die zu dem Manometer durch den Seitenfortsatz p überführt. Man muss natürlich die Durchmesser in dem letzteren Falle so wählen, dass sich die §. 177 fgg. erläuterten Störungen möglichst verkleinern.


Fig. 19.

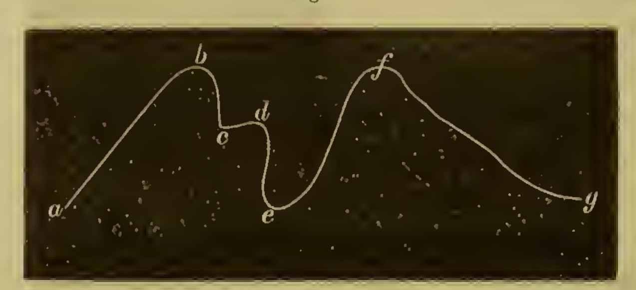


§. 457. Wir haben schon §. 25 gesehen, dass die Eigenschwankungen des Quecksilbers eine gefährliche Seite dieser Art von Untersuchungen bilden. Sie haben auch oft genug zu unrichtigen Blutcurven und irrigen Deutungen derselben geführt. Schiesst das Blut nach der Oeffnung des Hahnes in das Manometer plötzlich ein, so kann c Fig. 17 tiefer sinken und d höher steigen, als dem bleibenden Blutdrucke entspricht, weil der rasch aufgehobene Widerstand die Theilchen eine Geschwindigkeit erlangen lässt, die sie über die durch die Nebenbedingungen bestimmte Gleichgewichtslage hinausführt. Die Angaben von 320 Millimeter Blutdruck der Halsschlagader eines Pferdes oder selbst einer Henne gehören wahrscheinlich hierher, sofern nicht Athmungsstörungen eingriffen. Die Gefahr, einen ersten zu hohen Blutdruck zu erhalten, vermindert sich, je langsamer die Quecksilbersäule emporgeht. Sie steigt dann stossweise mit den einzelnen Herzschlägen und zwar um so allmäliger, je grösser die in der ganzen Manometervorrichtung entgegentretenden Widerstände sind. Es wurde §. 27 angegeben, wie die Eigenschwingungen des Quecksilbers in positivem oder negativem

[1]) HALES a. a. O. S. 29. 30.

Sinne stören können und wie man das Manometer am Besten einrichten wird, um diese Fehlerquelle möglichst herabzusetzen. Obgleich sie im Ganzen in geringerem Grade droht, als wenn man z. B. den Athmungsdruck in ähnlicher Weise bestimmt, so lehren doch die seit mehr als zwei Jahrzehnten verfolgten Irrwege, die unter Anderem zu der Annahme eines häufigen regelrechten zweischlägigen oder dikrotischen Pulses geführt haben, dass auch die Blutcurven den Charakter von Trugbildern der Eigenschwankungen des Quecksilbers wegen nicht selten annehmen. Da man häufig Linien von der Form abcde Fig. 20 erhält, so glaubte man annehmen zu können, dass eine schwächere nachfolgende und durch cd ausgedrückte Kammerzusammenziehung oder eine andere den Druck erhöhende Ursache während der von bc angezeigten Verengerung der Schlagader eingreift, also ein doppelschlägiger Puls vorhanden ist. Es ergibt sich aber aus §. 27, dass die Steigung cd entstehen kann, wenn die positive Wirkung der Eigenschwingung des entfernteren Quecksilberspiegels grösser als die gleichzeitige Spannungsabnahme des Blutes ist. Verräth sich dieser Fehler dem unmittelbaren Anblicke, so wiederholt sich meist nicht das Gleiche für die übrigen Fälle, in denen die zusammenfallenden negativen Wirkungen der Eigenschwankungen und der Blutdrucksabnahme die Senkung vergrössern oder die zweite Wirkungsweise beträchtlicher als die erste bleibt und daher zu geringe Schwankungen aufgezeichnet werden. Man kann z. B. auf diese Art nicht wissen, ob die langgezogene Senkungsform fg natürlich ist oder nicht. Die Druckunterschiede werden oft für kleine Schlagadern zu niedrig und für grosse zu hoch angegeben. Alle feineren Schlüsse, die man aus den Werthen solcher Manometerversuche oder der Blutcurven gezogen hat, ruhten daher auf keiner zuverlässigen Grundlage.

Fig. 20



§. 458. Grosse Widerstände werden zwar das Ueberschreiten der bleibenden Spannung und die Eigenschwankungen des Quecksilbers erschweren, dafür aber auch zu niedrige Druckwerthe liefern und geringe Aenderungen nicht erkennen lassen. Wenn oft kleinere

Thiere, wie Kaninchen, schwächere Druckgrössen, z. B. 85 bis 120 Millimeter für ihre Halsschlagader liefern, so hängt dieses möglicher Weise von den bedeutenderen Widerständen der nöthigen engeren Einsatzröhren (§. 179) oder der Natur der Sache ab. Die periodischen Druckschwankungen fallen auch aus jenem Grunde zu klein aus. Gibt z. B. der grösste Frosch nur eine Spannung von 22 bis 29 Millimeter Quecksilber für seinen linken Aortenbogen[1]), so können diese Werthe zu niedrig sein, weil die schmale Einsatzröhre grosse Widerstände erzeugt und die übertretende Blutmenge das kleine Thier erschöpft und daher eine merkliche Schwächung des Herzschlages und Entspannung der Gefässe herbeiführt. Bedient man sich dünner Röhren für feinere Schlagadern, so hat man es zu verhüten, dass sich Luftblasen einschalten, weil sonst ausserordentliche Druckgrössen durch den Widerstand derselben aufgezehrt werden (§. 108). Man muss die Hindernisse der Verengerung immer im Auge behalten und auf zu klein bleibende Druckwerthe gefasst sein, wenn man einen Hahn an der Umbiegungsstelle (n Fig. 17, S. 338) des Manometers nach SETSCHENOW anbringen und diesen nur so weit öffnen will, dass die systolischen Schwankungen ganz fehlen und die langsam gehobene Quecksilbersäule zuletzt beständig bleibt. Dasselbe gilt von Marey's Compensationsmanometer, das ein Haarrohr zwischen den beiden Schenkeln des Druckmessers enthält.

§. 459. A. FICK[2]) vertauschte den Blutkraftmesser mit einem Wellenzeichner, in dem das Spiel eines Bourdon'schen Manometers das des Quecksilbers ersetzt. Eine hohle Messingfeder von schwach elliptischem Querschnitte, die kreisförmig gekrümmt, an dem einen Ende befestigt und an dem anderen frei ist, wird mit Weingeist gefüllt. Ihr Inneres verbindet sich mit dem Blutgefässe durch Schläuche, die eine Lösung von unterkohlensaurem Natron enthalten. Ein aus schmalen Schilfstreifen bestehendes und nach Art der Geradfächerung eingerichtetes Hebelwerk vergrössert die schwache durch den Blutdruck erzeugte Federstreckung, ehe die Wellen auf dem Cylinder des Kymographion aufgezeichnet werden. Der Widerstand eines in Oel tauchenden Papierstreifens sucht die Eigenschwingungen der Vorrichtung zu beseitigen. TACHAU[3]) überzeugte sich von der entsprechenden Aufzeichnung

[1]) VOLKMANN a. a. O. S. 178.

[2]) AD. FICK in Reichert und du Bois' Arch. 1864. S. 583—589.

[3]) TACHAU, Ebendas. S. 586.

der Curven, wenn diese durch periodische Stösse der Flüssigkeit erzeugt wurden. Die allen Federvorrichtungen anhaftende Unsicherheit und die Gefahr, dass mit Eigenschwingungen versehene oder sonst abweichende Curven aufgezeichnet werden, dürfte zur Vorsicht bei dem Gebrauche mahnen.

§. 460. Alle Apparate, die Eigenschwingungen liefern, führen zu der jedenfalls misslichen Wahl, die Nachtheile von diesen in geringerem oder grösserem Maasse zu ertragen oder Widerstände einzuführen, welche die Aufzeichnung feinerer Druckunterschiede hindern. Man hat bis jetzt einen Grundsatz nicht angewendet, der eher zum Ziele führen könnte. Denkt man sich, eine senkrechte Scheidewand füllt den Hohlraum der Schlagader vollständig aus. Sie steht auf der Längsachse derselben senkrecht und wird bei dem Wechsel des Gesammtdruckes des Blutes mit möglichst geringer Reibung fortgeschoben. Ist sie mit einem Gewichte belastet, so bleibt sie in Ruhe, wenn der Gewichtsdruck dem absoluten Blutdrucke gleich und entgegengesetzt ausfällt. Bildet sie einen Theil der Schlagaderwand, so muss dann ihr Widerstand dem Wanddrucke gleichen. Hat man auf diese Art ein bestimmtes Grammengewicht als Gegendruck, so braucht man dieses nur durch das 12,95 fache (§. 24) der in Quadratcentimetern ausgedrückten Oberfläche der Scheibe zu theilen, um die hydrostatische Druckhöhe (§. 24) in Centimetern zu haben. Bewegte sich die Scheibe mit dem Wechsel des Blutdruckes hin und her, so liessen sich die Schwankungen auf dem Kymographion aufzeichnen und überdies auf die Hebung einer bestimmten Last auf eine gegebene senkrechte Höhe zurückführen [1]).

---

[1]) Die praktische Durchführung fordert jedenfalls eine sorgfältige Ausarbeitung. Man denke sich z. B, der wandständige cylindrische Einsatz f Fig. 19 sei mit einem ihn ausfüllenden cylindrischen Stempel versehen, der in ihm mit möglichst geringer Reibung gleiten kann. Dieser führt einen Stab, der oben eine Gewichtsschaale trägt. Eine Marke bezeichnet es, wenn die Unterfläche des Stempels gerade in der Ebene der Schlagaderwand steht. Das aufgelegte Gewicht in Verbindung mit der Reibungscorrection könnte dann die Berechnung des Blutdruckes und ein an dem Stabe angebrachter Seitenstift die Aufzeichnung der Schwankungen auf dem Kymographion gestatten. Der Stab selbst müsste gerade oder knieförmig verlaufen, je nachdem man den Einsatz senkrecht oder wagerecht benutzen wollte. Die Hauptschwierigkeit bestünde darin, dass der Wechsel des Blutdruckes eine gewisse Menge Blutes in den Einsatzcylinder triebe und wiederum zurückzöge und dadurch die Reibungsverhältnisse wesentlich änderte. Sollte nicht eine reichliche Einölung diesem Uebelstande steuern, so müsste man zu dem misslichen Mittel seine Zuflucht nehmen, eine mit Oel getränkte und hinreichend nachgiebige Haut an der Unterfläche des Einsatzcylinders anzubringen.

§. 461. Wie jeder klare Kopf, der auf einem neuen Gebiete des Denkens bahnbrechend wirkt, eine Reihe von Haupterscheinungen von vornherein feststellt, so verdankt man auch HALES nicht bloss die Kenntniss der hohen bleibenden und der verhältnissmässig geringen wechselnden systolischen Spannung (§. 454) und des Unterschiedes der endständigen und der wandständigen Einfügung (§. 456), sondern auch den Nachweis, dass der Blutdruck in der Hals- oder der Schenkelschlagader grösserer oder kleinerer Säugethiere nahezu derselbe ist und sich durch die Nebenbedingungen der Athmung und der Ernährung in gleicher Breite ändern kann [1]), dass ihn endlich Blutverluste beträchtlich herabsetzen [2]). POISEUILLE glaubte noch hinzufügen zu können, dass die mittlere Druckgrösse des Blutes in den grösseren Arterien, wie in der Hals-, der Schenkel- und der Gekrösschlagader eines und desselben Säugethieres vollkommen die gleiche sei. Schon HALES [3]) hatte aber hervorgehoben, dass sich ein irgend sicherer Durchschnittswerth nur aus einer sehr grossen Reihe von Erfahrungen der beträchtlichen Einzelschwankungen wegen erhalten liesse. LUDWIG und VOLKMANN [4]) sprachen sich gegen jenen Satz von POISEUILLE nach ihren Erfahrungen aus. Eine nähere Betrachtung kann aber lehren, dass die Fehlergrössen der Manometerbeobachtungen und der Blutcurven zu bedeutend sind, als dass man das Feinere dieser Frage anders als theoretisch festzustellen vermöchte.

§. 462. Es lag an der Unklarheit der Auffassung, wenn man es wunderbar fand, dass das Herz eines kleineren Säugethieres oder Vogels einen eben so starken arteriellen Blutdruck als das eines Pferdes unter günstigen Bedingungen erzeugen kann. Der Anfang der Kammerverkürzung muss nur einen stärkeren Druck liefern, als die Summe der elastischen Rückwirkung der Schlagaderwände und der Bewegungswiderstände der halbmondförmigen Klappen beträgt, damit diese geöffnet und neue Blutmassen eingetrieben werden. Bedenkt man, dass ein ausgeschnittener und durch Vorversuche erschöpfter Froschmuskel eine Last von fünf Kilogrammen um eine noch merkliche Grösse für jeden Quadratcentimeter Querschnitt heben kann, so wird die zur Erfüllung jener Bedingungen nöthige Kraftgrösse auch in dem Herzen des kleinsten warmblütigen Ge-

---

[1]) HALES a. a. O. p. 28. 29.

[2]) HALES a. a. O. p. 5. 13. 18. 35.

[3]) HALES a. a. O. p. 28. 29.

[4]) VOLKMANN S. 156 fgg.

schöpfes gegeben sein. Der Schwerpunkt der ganzen Frage liegt aber nicht hier, sondern in den Schlagadern. Die Spannung, die man misst, bildet den Ausdruck der Füllungsgrösse derselben. Sie entspricht dem augenblicklichen Ueberschusse des Zuflusses über die Entleerung (§. 3). Diese hängt von den Widerständen in der Peripherie ab. Jener dagegen kann von einer selbst mässigen Herzkraft fortwährend erneuert werden. Tritt hier eine Merkwürdigkeit auf, so liegt sie darin, dass der Festigkeitsmodul der Schlagaderwände und der halbmondförmigen Klappen eines kleineren Säugethieres oder Vogels gross genug ist, die gewöhnlichen bedeutenden Wanddrucke oder noch grössere, wie sie bei tiefen Athembewegungen häufig vorkommen, auszuhalten. Reissen die Wände von Pulsadergeschwülsten oder z. B. von Lungengefässen Schwindsüchtiger unter ähnlichen Bedingungen, so müssen sie vorher noch mehr verdünnt oder erweicht worden sein. Man darf übrigens den Satz der angeblichen Gleichheit des Blutdruckes in den kleineren und den grösseren Säugethieren nur so auffassen, dass jene eben so hohe Werthe als diese unter besonders günstigen Verhältnissen liefern können. Die gewöhnlichen Durchschnittswerthe dagegen fallen im Allgemeinen in ihnen kleiner aus. Man kann z. B. als Regel annehmen, dass die Halsschlagader des Pferdes 160 bis 180, des Hundes 150 bis 165 und des Kaninchens 100 bis 120 Millimeter Quecksilber gibt, ohne dass die §. 458 erwähnten künstlichen Widerstände die alleinige Ursache der Unterschiede bilden. Wenn Volz und Barrier nur 12 Centimeter fanden, als sie den Blutkraftmesser in die Schenkelschlagader von zwei frischen Amputationsstümpfen des Menschen einsetzten, so werden künftige Erfahrungen lehren müssen, von welchen Nebenbedingungen diese auffallend kleine Druckgrösse abhing.

§. 463. Die §. 175 fgg. gegebene Darstellung der hydraulischen Verhältnisse des Durchganges der Flüssigkeiten durch Röhren führt schon zu dem Schlusse, dass der Blutdruck in dem Bauchtheile der Aorta kleiner als in dem Brusttheile sein muss, weil die Adhäsion und die Reibung des Zwischenweges eine gewisse Druckgrösse aufzehren. Die Krümmungen und die Verzweigungen, deren Einflüsse §. 187 fgg. erläutert wurden, müssen ebenfalls einen Verlust von Druckkraft herbeiführen. Verästelt sich eine Schlagader, so ist in der Regel die Summe der Innenflächen der Zweige für die gleiche Länge grösser als die des Stammes. Dieser Umstand führt daher zu einer neuen Abnahme der Druckkraft. Wechselt schon der

Wanddruck mit den Widerständen, welche die peripherischen Gefässbezirke den verschiedenen Schlagadern entgegensetzen, so kommt noch überdies der Elasticitätsmodul ihrer Wände in Betracht. Gibt eine Verästelung unter dem Blutdrucke, der von einem Stamme aus wirkt, mehr nach, so verkleinert sich hierdurch der vorliegende Widerstand und mit ihm der Wanddruck, weil der Querschnitt des Flussbettes zunimmt. Man sieht hieraus, dass man schon eine merkliche Druckabnahme selbst bei geringen Entfernungen finden müsste, wenn die Prüfungsvorrichtungen fein genug wären, die Unterschiede anzugeben.

§. 464. Die ausserordentliche Glätte der Innenhaut der Schlagadern lässt erwarten, dass der Gleitungswiderstand erst dann eine bedeutendere Grösse erreicht, wenn die Wandfläche eine im Verhältniss zum Inhalte beträchtliche Ausdehnung gewinnt. Er wird also in den grösseren Schlagadern klein bleiben. Da die Blutbahn im Ganzen wenige Krümmungen und Theilungen zu durchlaufen pflegt, ehe sie zu ihnen gelangt, so beginnen auch die merklichen Druckunterschiede erst mit den untergeordneten Zweigen. Volkmann[1]) fand z. B., dass der aus acht Beobachtungen gezogene Durchschnittswerth des Blutdruckes der Halsschlagader eines grossen Hundes 172 Mm. und der gleichzeitige eines Seitenastes der Schenkelschlagader 165 Mm. betrug, dieser also nur $^1/_{24}$ bis $^1/_{25}$ geringer ausfiel. Die Halsschlagader eines Kalbes lieferte 116 und die Arteria metatarsea 89 Mm. oder einen um $^1/_4$ bis $^1/_5$ geringeren Druck. Ludwig, Spengler und Volkmann setzten einen Blutkraftmesser in die Carotis in der Richtung nach dem Herzen zu und einen zweiten in der nach dem Gehirn hin ein. Das Blut musste also zu diesem auf dem mit zahlreichen Biegungen versehenen Umwege der Wirbelschlagader gelangen. Der letztere gab auch 9 bis 60 Mm. weniger. Da die Summe der §. 463 erwähnten überwundenen Widerstände verhältnissmässig um so grösser ist, je mehr man sich den Haargefässen nähert, so tritt in sie das Blut erst nach bedeutendem Druckverluste ein. Dieser richtet sich aber nicht sowohl nach der Entfernung vom Herzen, als nach der Zahl, der Form, der Länge und den Querschnitten der feineren Schlagaderzweige. Das Blut dringt wahrscheinlich mit keinem grösseren Geschwindigkeitsdrucke in die feinen Haargefässe der Muskelmasse des Herzens, als in die groben Blutgefässschlingen der Nagelmatrix ein.

---

1) Volkmann a. a. O. S. 167—169. 171.

§. 465. Die Reibung verzehrt einen verhältnissmässig bedeutenderen Theil der systolischen Schwankungen (§. 454) in den kleineren als in den grösseren Schlagadern. Der Unterschied der grössten Höhen- und Tiefenstände, die der Wechsel der Herzthätigkeit erzeugt, beträgt z. B. 5 bis 10 Millimeter in der Hals- und der Schenkelschlagader des Hundes und nur 2 bis 3 Millimeter in einem nicht sehr dünnen Zweige der letzteren. Er kann sogar schon in Schlagaderästen am Manometer unmerklich erscheinen, in die man noch eine nicht ganz dünne Canüle ohne Mühe einführt. Da man aber die stossweise Blutbewegung bis zu Arterienzweigen von weniger als einem halben Millimeter Durchmesser unmittelbar sieht und fühlt, so rührt jene scheinbare Gleichheit nur von den Widerständen der Manometervorrichtung her. Die durch die periodische Herzthätigkeit erzeugten höchsten und niedersten Werthe des Geschwindigkeits- und des Wanddruckes rücken zwar einander um so näher, je weiter und feiner sich die Schlagadern verzweigen. Der Unterschied wird aber selbst in den dünnsten Aesten noch nicht vollständig aufgehoben. Das Blut strömt mit nachdrücklicheren Stössen aus einer grossen, als aus einer kleinen angeschnittenen Schlagader. Allein die schmalsten mit freiem Auge kenntlichen Arterien liefern keinen gleichförmig fliessenden Strahl, weil die vor ihnen eingreifenden Reibungen noch nicht alle von der Kammerzusammenziehung abhängige Druckverstärkung aufgezehrt und die Blutbewegung der bleibenden Spannung allein überlassen haben. Die bald zu betrachtenden Bedingungsglieder, welche die Breite der systolischen Schwankungen vergrössern, wirken am Nachdrücklichsten auf die grossen Schlagaderstämme und um so weniger, je feiner sich diese verästeln.

§. 466. Da die Muskelmasse der rechten Kammerwand nur die Hälfte von der der linken beträgt (§. 344), so folgt, dass die Widerstände in dem Lungenkreislaufe beträchtlich kleiner als in dem Körperkreislaufe ausfallen. Eine geringere Spannung der Lungenschlagader[1]) reicht daher hin, das Blut bis in den linken Vorhof

[1]) Es ergibt sich schon aus §. 4, dass nur die Richtung des Blutstromes, nicht aber die Farbe des Blutes über den Bau der Wandungen der Schlag- und der Blutadern entscheidet. Die mechanischen Beziehungen lassen dieses als selbstverständlich erwarten. Wenn die Alten die Lungenschlagader Vena arteriosa nannten, weil sie dem rechten Herzen gleich den Hohlvenen angehört, und zuerst die Gesammtsumme der Lungenblutadern und dann seit Eustachi jede einzelne als Arteria venosa aus einem ähnlichen Grunde anführten, so hatte Caesalpin Recht, die Ursache dieser Beziehungs-

überzutreiben. HERING setzte einen Druckmesser in die rechte und die linke Kammer des von ihm beobachteten, mit Herzvorfall gebo-renen Kalbes (§. 327). Das Blut stieg auf 516 Millimeter in jener und auf 774 bis 860 Mm. in dieser. Man erhielt allerdings nur die schwachen Drucke von 40, 60 und 66 Mm. Quecksilber. Da aber das Thier schon 11 Tage gelebt und keine Athembeschwerden dargeboten hatte, so dürfte sich wenigstens das gegenseitige Verhältniss beider Drucke, das 1:1,5 bis 1,7 betrug, der Wahrheit mehr genähert haben, als in den physiologischen Versuchen, die man an frisch getödteten Thieren anstellte. Als LUDWIG und BEUTNER die Spannungen des linken Astes der Lungenschlagader und der Halsschlagader nach geöffnetem Brustkasten und während der künstlichen Athmung gleichzeitig prüften, erhielten sie im Durchschnitt nur 1:3,1 für den Hund, 1:5,3 für die Katze und 1:4,2 für das Kaninchen. Da aber fast alle Druckwerthe der Carotis unter 100 und selbst bis 34 Mm. Quecksilber herabgingen und die Prüfung der Blutspannung in dem linken Aste der Lungenschlagader die künstliche Athmung nur für die rechte Lunge wirksam machte, so darf man schliessen, dass keine auf die regelrechten Verhältnisse anwendbaren Bedingungen vorlagen. Dasselbe gilt von den ähnlichen Werthen von COLIN [1]). Wenn MAREY, FAIVRE und CHAUVEAU [2]) das Verhältniss der Verkürzungsenergie des rechten und des linken Herzens zu 1:3 anschlagen, so beruht dieser Werth auf Ergebnissen, die mittelst eines nicht ganz sicheren Versuchsverfahrens gewonnen wurden.

§. 467. Der negative Einathmungsdruck, der Flüssigkeiten in die Brusthöhle saugt, liefert eine Druckgrösse, deren Geschwindigkeitsrichtung der des Triebdruckes des Schlagaderblutes entgegengesetzt ist und ihn desshalb verkleinert. Die Ausathmung führt die umgekehrten Bedingungen ein. Die Spannung der Halsschlagader

---

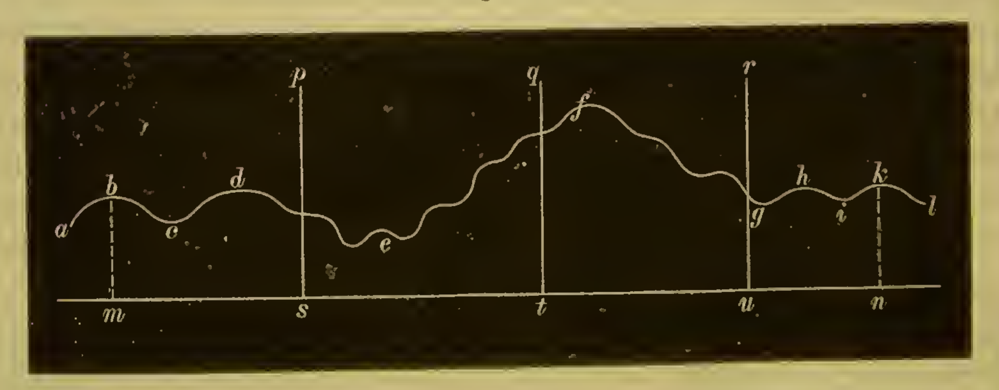
weise zu bekämpfen. (Vgl. K. SPRENGEL, Versuch einer pragmatischen Geschichte der Arzneikunde. Zweite Auflage. Th. III. Halle 1801. 8. S. 548.) Man kann aber nicht läugnen, dass jene Benennung den Vortheil darbot, die mechanischen und die chemischen Beziehungen zugleich zu umfassen. Würde nicht die Umkehrung der Ausdrücke zu Missverständnissen führen, so erschiene es nach unseren gegenwärtigen Kenntnissen als das Zweckmässigste, die Lungenschlagader als Arteria venosa und jede der Lungenblutadern als Vena arteriosa zu bezeichnen, weil dann die wichtigere mechanische Bestimmung der untergeordneten chemischen vorangestellt würde.

[1]) COLIN, Comptes rendus. T. 59. 1865. p. 958.

[2]) MAREY a. a. O. p. 104.

eines Hundes oder eines Pferdes kann daher bis auf 80 Mm. während der Einathmung heruntergehen und bis 220 Mm. während der Ausathmung steigen. Diese Unterschiede verkleinern sich wiederum (§. 464), je weiter man zu schmaleren Aesten fortschreitet. Man schloss aus solchen Versuchen, dass der Blutdruck während einer tiefen Einathmung fortwährend sinkt und im Laufe einer kräftigen Ausathmung anhaltend steigt. Das ruhige Athmen dagegen erzeugt nur unmerkliche Aenderungen in dieser Beziehung. So richtig das letztere ist, so lehrten doch die Versuche, die LUDWIG und EINBRODT [1]) an Hunden und ich an erstarrten Murmelthieren anstellten, dass ein anderer Gang der Erscheinungen bei tieferen und daher auch länger anhaltenden Athmungsbewegungen eingreift. Sind die Murmelthiere fest eingeschlafen, so schlägt ihr Herz nur je ein oder wenige Male nach langen Zwischenpausen. Dasselbe wiederholt sich für die Athembewegungen nach noch grösseren Zeitunterschieden. Das Thier macht dann eine tiefe Einathmung, der eine langsame, aber etwas raschere Ausathmung nachfolgt. Die Blosslegung der Halsschlagader und die Einführung der Canüle stören zwar die Tiefe des Winterschlafes, so dass das Herz häufiger klopft und sich die Athembewegungen nach kleineren Pausen wiederholen. Man kann aber immer noch die Blutcurven aufschreiben, während sich das Thier in ziemlich festem Schlafe befindet. Gelungene Versuche liefern dann Linien, wie sie Fig. 21 darstellt.

Fig. 21.



abcd sind die systolischen Schwankungen vor der Einathmung. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass die Uebergangsstellen b und d verhältnissmässig flach erscheinen. Die diastolische Senkung fällt eben so lang oder länger als die systolische Hebung aus. Greift

[1]) EINBRODT, Moleschott's Untersuchungen. Bd VII. 1860. S. 312—324.

nun die tiefe Einathmung während ps und qt ein, so geht zwar im Anfange der Blutdruck nach e hinunter. Er steigt aber später anhaltend, setzt seine Hebung in dem ersten Zeitabschnitte der Ausathmung, die zwischen qt und ru liegt, bis zur Höhe f fort und geht nachher nach g hinunter. Der Athemzug hat aber zur Folge, dass er einen höheren Blutdruck als früher (kn > ab) bei sonst ähnlicher Curvenform zurücklässt.

§. 468. Die genauere Betrachtung erklärt es, wesshalb die Spannung des Carotidenblutes in einem ersten kleineren Abschnitte der Einathmung sinkt und in einem grösseren zweiten steigt, im Anfange der Ausathmung weiter zunimmt und später abermals hinabgeht. Der negative Einathmungsdruck saugt nicht bloss Luft in die Lungen, sondern auch Blut nach dem Herzen zu ein. Die stärkere Füllung desselben bewirkt es, dass es mehr Blut in die Schlagadern treibt, bald auch häufiger schlägt und länger in seiner Zusammenziehung als in der Erschlaffung verharrt, wie man zwischen e und f sieht. Die Ausathmung wirkt diesem Verhältnisse entgegen, weil ihr Druck die Blutentleerung der Lungen, wie wir sehen werden, erleichtert und sich als eine positive Spannung zu dem Triebdrucke des Körperblutes hinzufügt. Die fernere Steigung bleibt daher nur während der Anfangszeit möglich. Da sich dann das Herz immer weniger füllt, so wird auch eine geringere Blutmenge nach den Schlagadern übergetrieben. Die Dauer der Zusammenziehung nimmt ab und die der Erschlaffung zu, so dass diese merklich länger als jene anhält, wie man zwischen f und g sieht. Der Blutdruck sinkt und zwar oft in wachen Geschöpfen auf seinen früheren Stand oder noch tiefer. Er bleibt dagegen etwas höher als früher in den erstarrten Murmelthieren, wenn der Athemzug das Thier dem Erwachen näher bringt.

Die Herzschläge wiederholen sich oft erst nach Minuten während der tiefsten Erstarrung, so dass sich ein grosser Theil der bleibenden Spannung des Schlagaderblutes unterdessen ausgleicht (§. 454). Ein in tiefem Schlafe befindliches Murmelthier kann desshalb nur 53 Mm. Quecksilber mit einer systolischen Schwankung von 2 bis 8 Mm. geben. Der Druck ist unzweifelhaft noch weit geringer in der festesten Erstarrung. Der häufigere Herzschlag und die öfter wiederholten Athembewegungen können ihn allmälig bis 106 Mm. heben, ohne dass der leise Winterschlaf aufgehoben wird. Es kam vor, dass die Spannung von diesem Werthe allmälig auf 16 Mm. durch Blutverlust und andere ungünstige Nebenbedingungen

herunterging. Das Thier war dessenungeachtet am folgenden Tage erwacht und pfiff, so wie es belästigt wurde, auf das Nachdrücklichste. Dieses lehrt, dass der Blutdruck auf einen sehr kleinen Werth sinken kann, ohne dass desshalb die Möglichkeit der Erholung ausgeschlossen bleibt. Wir werden sogleich sehen, dass der gleiche Satz auch für den Menschen und die wachen Säugethiere gilt.

§. 469. Diese Thatsachen können einige in der praktischen Heilkunde geläufige Vorstellungen berichtigen. Der plötzliche Stoss, den die rasche und kräftige Ausathmung bei einem Anfalle von Husten erzeugt, vermag auf die Schlagadern der Brusthöhle so einzuwirken, dass die Spannung in den ausserhalb derselben liegenden Arterien rasch emporgeht und daher z. B. eine Pulsadergeschwulst in Folge dessen berstet. Die dünne Wand, die ein grösseres Lungengefäss eines Schwindsüchtigen von der Eiterhöhle trennt, reisst nicht selten ein, weil der stärkere Ausathmungsdruck das Blut kräftiger auf die Wände der Lungengefässe wirken lässt und zugleich eine reichlichere Entleerung des rechten Herzens bedingt. Es ergibt sich aber aus dem §. 468 Dargestellten, dass solche Wirkungen nicht, wie man bisher annahm, der Gesammtdauer, sondern nur der ersten Hälfte der Ausathmung zukommen, wenn diese längere Zeit anhält. Man hat auch bis jetzt die Einathmung für unschädlich gehalten, weil man ihr nur eine Abnahme des Blutdruckes zuschrieb. Sie kann aber eine nachtheilige Seitenspannung der Schlagadern während der zweiten Hälfte ihrer Dauer eben so gut erzeugen, als die Ausathmung während der ersten. Die langen und tiefen Athemzüge, wie sie z. B. bei dem Saugen vorkommen, vermögen daher ebenfalls Gefahren zu bereiten. Die Bauchpresse, bei der sich das sonst der Einathmung dienende Zwerchfell und die für die Ausathmung bestimmten Bauchmuskeln gleichzeitig zusammenziehen, drückt die Eingeweide der Unterleibshöhle und die grossen in ihr verlaufenden Blutgefässe zusammen. Die Füllung der übrigen Körpergefässe und mithin auch die Seitenspannung der ausserhalb der Bauchhöhle befindlichen Schlagadern vergrössern sich desshalb. Die gewöhnlichen Folgen der kräftigen Ausathmung gesellen sich zu dieser Wirkung hinzu. Die Bauchpresse kann daher in empfindlichen Kranken Kopfschmerz, in Schwindsüchtigen Lungenblutungen und in anderen Leidenden Berstungen von Abscessen oder Pulsadergeschwülsten, Gefässzerreissungen und Blutergüsse hervorrufen.

§. 470. Die der Athmung dienenden Haargefässe der Lungen bilden Netze cylindrischer und geradliniger Röhren. Füllen sich die

Lungen bei dem Einathmen, so dehnt der allseitige Zug der Lungenbläschen die Athmungscapillaren aus, so dass die meisten von ihnen länger und enger werden. POISEUILLE[1]) überzeugte sich von der Richtigkeit dieses Satzes durch die Vergleichung von Einspritzungen zusammengefallener und aufgeblasener Lungen. Die Hindernisse, welche die feineren und feinsten Lungengefässe der Blutbewegung entgegensetzen, fallen daher während der Einathmung grösser aus, als während der Ausathmung. Das Blut wird andererseits, so lange die Luftverdünnung in den Bronchien und den Lungenbläschen fortdauert, reichlicher in die Athmungscapillaren strömen und schwerer in die kleinen Venen abfliessen. Man darf aber nicht glauben, dass die längere Dauer der Kammerzusammenziehung während des tiefen Einathmens und die der Erschlaffung zur Zeit des Ausathmens von dem Wechsel der Widerstände nach dem §. 189 erwähnten Gesetze abhängen. Hat man die beiden herumschweifenden Nerven am Halse durchschnitten, so vergrössert sich die Zahl der Herzschläge in auffallendem Grade. Die Athemzüge werden zugleich tiefer, mühsamer und seltener. Der Druck des Schlagaderblutes nimmt dann noch immer nach EINBRODT[2]) in dem ersten kürzeren Zeitraume der tiefen Einathmung ab, in dem zweiten längeren zu und verfolgt den entgegengesetzten Gang während der Ausathmung. Allein die Zahl der Herzschläge bleibt jetzt in beiden Fällen gleich und die meisten verwenden so ziemlich dieselbe Zeit für die Hebung und die Senkung der Blutspannung. Oeffnet man die eine Pleurahöhle eines gesunden Hundes, so kann sich noch der Blutdruck auf einer beträchtlichen Höhe erhalten. Er sinkt dagegen bedeutend, so wie man auch die zweite Lunge unthätig macht und erreicht keinen sehr grossen Werth während der künstlichen Athmung.

§. 471. Die Versuche, die EINBRODT[3]) mit dem Athmen künstlich verdichteter oder verdünnter Luft anstellte, bestätigten die eben vorgetragene Auffassungsweise. Steigt der Druck der verdichteten, in die Lungen eingeführten Luft bis zu einer gewissen Grösse, so bleiben die Athembewegungen des Hundes mehrere Minuten aus, ohne dass sich desshalb Erstickungsnoth oder ein anderer Nachtheil geltend macht. Eine von der Drosselvene in den rechten Vorhof

---

[1]) POISEUILLE, Comptes rendus. Tome XLI. 1855. p. 1072—1076.

[2]) EINBRODT a. a. O. S. 315. Fig. 7 und 8.

[3]) EINBRODT a. a. O. S. 268—312.

geführte und mit einem Manometer verbundene Röhre lehrte, dass hier der Blutdruck von 4,5 bis 30,5 Mm. stieg, wenn der positive Athmungsdruck auf 125 Mm. emporging. Die Spannung des Schlagaderblutes sinkt, weil das Herz weniger Blut aufnimmt, wie die Leichenöffnung bekräftigt. Es kann vorkommen, dass alle systolischen Schwankungen (§. 454) ausbleiben und nur eine gerade Linie aufgezeichnet wird. Die Zahl der Herzschläge und der Druck des Schlagaderblutes wachsen wiederum, so wie die Athembewegungen von Neuem beginnen oder diese noch ausbleiben und dafür kräftige Muskelverkürzungen der Gliedmaassen erregt werden, deren Druck mehr Blut nach dem Herzen treibt. Die Spannung der Drosselblutadern dagegen erhöht sich in bedeutendem Maasse während der Athmungsstockung. Ein hoher Athmungsdruck kann endlich den Stillstand des Herzens zur Folge haben.

§. 472. Die Einführung verdünnter Luft in die Lungen erzeugt mühsamere Athembewegungen, hebt sie aber nie auf. Der Blutdruck der Schlagadern steigt mit jeder Ausathmung um so mehr, je beträchtlicher der Druckunterschied der in den Lungen enthaltenen und der äusseren Luft ist. Sein Mittelwerth fällt grösser aus, weil das Herz bedeutendere Mengen von Blut aufnimmt und austreibt. Der Herzschlag verlangsamt sich nach Kurzem unter gewöhnlichen Verhältnissen und erst nach langer Einwirkung, wenn vorher die herumschweifenden Nerven durchschnitten worden.

§. 473. Athme ich sehr tief ein und halte den Athem möglichst lange an, so wird der Puls der Speichenschlagader schwächer und endlich in gelungenen Versuchen unfühlbar. Joh. Müller hat das Gleiche an sich selbst wahrgenommen. Donders beobachtete den Pulsmangel in zwei Personen unter neun, die er den Versuch anstellen liess und Bäuerlein und Budge bemerkten ihn bei der Hemmung der Athmung sowohl in der Einathmungs- als in der Ausathmungsstellung. Weber erzeugte den Stillstand des Herzens und das Ausbleiben der Herztöne, indem er den Austritt der Luft aus der Brusthöhle hinderte und diese zusammendrückte. Man fühlte dann nur drei bis fünf Pulsschläge, ehe sie plötzlich ausblieben. Eine lebensgefährliche Ohnmacht kann diesen Versuch begleiten, wenn er eine halbe bis eine ganze Minute fortgesetzt wird. Ein französischer Student, Namens Ed. Weber, dessen Puls schon 5 bis 6 Secunden nach dem tiefen Einathmen verschwand, hatte die Empfindung eines Schlages im Nacken am Anfange und Schwindel

nach dem Ende des Versuches[1]). Liess endlich EINBRODT verdichtete Luft in seine Lungen treten, so wurde die Bewegung der Athemmuskeln mit der Erhöhung des positiven Druckes immer mühsamer. Beklemmung, Röthe und Schwellung des Gesichtes und des Halses, Hervortreten der Augäpfel, Thränenfluss, Ohrensausen und Schmerz im Hinterhaupte folgten nach. Der Puls wurde zuletzt unfühlbar und erschien gross, stark und selten nach Beendigung des Versuches. Die Erfahrungen, dass man ihn durch starkes Drücken wesentlich schwächen kann, dass sich dasselbe während lang andauernder Hustenanfälle, in dem Keuchhusten oder bei anhaltenden Athmungsunterbrechungen überhaupt zu wiederholen vermag, lassen sich auf die eben geschilderten Wirkungen zurückführen.

§. 474. HALES[2]) hat schon nach seinen Druckmessungen für die §. 452 erwähnten Säugethiere tabellarisch verzeichnet, wie die Spannung des Schlagaderblutes bei Blutverlusten mit der Menge des ausgetretenen Blutes sinkt. POISEUILLE bestätigte das Gleiche in einem Pferde und VOLKMANN[3]) an drei Hunden und einem Kalbe. Der Abgang von Blut entspannt zwar das Gefässsystem; man kann aber die Erscheinungen, die man an todtenstarren oder elastischen Röhren beobachtet hat[4]), nicht unmittelbar übertragen, weil dann bedeutende Mengen von Ernährungsflüssigkeit und Lymphe in das Blut, wie wir bei den allgemeinen Kreislaufsverhältnissen sehen werden, übergehen. Die Spannung verkleinert sich daher auch nicht in gleichem Verhältnisse mit der Grösse des Blutverlustes. Begünstigende Nebenbedingungen, z. B. der Athmung, können es herbeiführen, dass der Druck nach einem neuen Aderlasse für eine kurze Zeit höher als früher ausfällt. Zwei andere hier noch in Betracht kommende Einflüsse rühren von der Herzthätigkeit und dem Baue der Schlagaderwände her. Stellte sich auch die frühere Inhaltsmenge des Gefässsystemes auf dem Wege der Einsaugung her, so würde doch ein grosser Theil von Blutkörperchen, also der wesentlichen belebenden Sauerstoffträger jedenfalls mangeln. Die hierdurch erzeugte Schwächung der Herzschläge macht sich daher auch unzweifelhaft geltend. Sie kann zuerst ausgleichend wirken, wenn die

---

[1]) E. WENDLING, Influence mécanique de la respiration sur la circulation. Strasbourg 1864. 4. p. 31.

[2]) HALES a. a. O. p. 5. 13. 18.

[3]) VOLKMANN a. a. O. S. 478.

[4]) VOLKMANN a. a. O. S. 467.

Kammerzusammenziehungen rascher auf einander folgen (§. 205), und später den Druck herabsetzen helfen, so wie der Sauerstoffmangel die Herzthätigkeit verlangsamt (§. 177 fgg.). Da aber der Grad der Entspannung mit dem Elasticitätsmodul, dem Baue und der Befestigung der Schlagaderwände wechselt, so hat man nicht nothwendiger Weise die gleiche Druckabnahme in allen Körperschlagadern. Hieraus folgt wiederum, dass sich hier die Erscheinungen, die todte Röhren liefern, nicht unmittelbar auf die lebenden Schlagadern übertragen lassen. Strömt das Blut aus einer Arterienwunde, so sinkt wahrscheinlich der Druck verhältnissmässig am Meisten in dem peripherischen Theile der verletzten Schlagader, weil hier das austretende Blut einen unmittelbaren Füllungsverlust erzeugt. Die angrenzenden centralen Bezirke der Arterie werden nächstdem die Entspannung am Nachdrücklichsten empfinden. Die Einspritzung grösserer Mengen von Flüssigkeiten in das Gefässsystem erhöht den Druck. Die Versuche von MAGENDIE [1]), VOLKMANN, LUDWIG, GOLL und HERMANN haben diese theoretisch zu erwartende Erscheinung auf dem Erfahrungswege bestätigt. Hatte dagegen POISEUILLE [2]) eine gewisse Menge Blutes einem Hunde entzogen und diese durch gleich warmes Wasser ersetzt, so sank die Spannung des Carotidenblutes, weil sich wahrscheinlich die Grösse der Herzentleerung verminderte.

§. 475. Vergrössert sich der Widerstand des Blutlaufes in einem Gefässbezirke, so dass der Geschwindigkeitsdruck abnimmt, so muss der Seitendruck in den zuführenden Schlagadern in entsprechendem Grade wachsen. Die Ausdehnung der Störung hängt von der durch das bedeutendere Hinderniss zurückgewiesenen Blutmenge und der Dehnbarkeit der Arterien, nach denen sie ausweichen kann, ab. Hemmungen, die umfangreiche Gefässbezirke umfassen, vergrössern daher den Blutdruck in allen leichter durchgängigen Körperschlagadern, in den verschiedenen Stämmen aber in ungleichem Grade. Die Widerstände der peripherischen Abschnitte bestimmen in jedem einzelnen, um wie viel der Geschwindigkeitsdruck und um wie viel der Wanddruck zunimmt. Die Muskelverkürzung kann schon solche Störungen herbeiführen. Alle Ursachen, die das Blut in den Haargefässen eines Körperbezirkes stocken lassen, also auch der Einfluss der Kälte oder die Entzündung, die

---

[1]) Siehe MAGENDIE, Leçons sur les phénomènes physiques de la vie, recueillies par C. JAMES. Tome III. 1837. S. p. 68.

[2]) POISEUILLE, Ebendaselbst p. 61.

Unterbindung oder die Verstopfung einer oder mehrerer Schlagadern[1]), oder der Verlust eines grösseren Körpertheiles, während die Ernährungswerkzeuge noch so, wie es die ganze Körpermasse forderte, fortarbeiten, müssen sie nach sich ziehen. Die Betrachtung der allgemeinen Kreislaufsverhältnisse wird uns jedoch zeigen, dass hier Ausgleichungsmittel nach und nach eingreifen und daher die übermässige Spannung allmälig herabsetzen.

§. 476. Die §. 187 fgg. dargestellten hydraulischen Normen lassen sich unmittelbar auf diejenigen Fälle übertragen, in denen der Druck eines benachbarten Körpers, die Wirkung der Kälte oder Blutgerinnsel, die nicht vollständig verstopfen (unvollkommene Embolieen), eine Verengerung oder umgekehrt Stauungen, Pulsadergeschwülste oder andere Ursachen eine Erweiterung des Flussbettes eines Schlagaderstammes erzeugen. Da die in beiden Fällen auftretenden Strudel einen Theil des wirksamen Druckes aufzehren, so begünstigen sie die Bildung neuer geronnener Blutmassen, welche die Störung gleich anderen entgegenstehenden Körpern vergrössern[2]).

---

[1]) Der Erfolg hängt natürlich von Einzelbedingungen ab, die nicht bloss mit der Thierart, sondern auch mit dem Individuum wechseln können. Führte Chauveau (Marey, Physiologie de la circulation. p. 217) seinen Arm in den Mastdarm eines lebenden Pferdes und drückte die Bauchaorte vor ihrer Gabeltheilung von hier aus zusammen, so zeigte der mit der Halsschlagader verbundene Sphygmograph eine Spannungserhöhung an. Die Zahl der Herzschläge nahm gleichzeitig ab. Die Unterbindung der Nieren- oder der Hüftpulsadern erhöht in der Regel den Seitendruck in dem übrigen Arteriensysteme. Dasselbe wiederholt sich wahrscheinlich in Menschen, die hoch oben am Oberschenkel amputirt worden, wenn später die Ernährungswerkzeuge eine dem früheren Rauminhalte des Körpers entsprechende Blutmenge herzustellen suchen. Ludwig und Thiry (Sitzungsber. der Wien. Akad. Bd. XLIX. 1864. S. 352) sahen den Blutdruck in den übrig gebliebenen wegsamen Arterien des Kaninchens wenig steigen, wenn sie die Bauchaorte unterhalb des Abganges der beiden Nierenschlagadern verschlossen, etwas mehr, wenn sie die Hals- und die Schlüsselbeinschlagadern unwegsam machten, beträchtlich dagegen, sowie sie die Aorta oberhalb des Zwerchfells zusammendrückten. Der Durchgang des Blutes auf die Baucheingeweide stiess also auf die verhältnissmässig geringsten Widerstände.

Unterbindet man eine grosse Körperschlagader oder wird diese durch einen Blutpfropf oder einen anderen Fremdkörper plötzlich verstopft, so muss der Wanddruck in den wegsamen Theilen des Schlagadersystemes und zunächst in den benachbarten Arterien schnell zunehmen. Er kann daher in den ersten Folgezeiten am Nachtheiligsten wirken. Das unversehens eingreifende Hinderniss übt hier eine Wandwirkung nach demselben Grundsatze aus, der in dem hydraulischen Widder technisch benutzt wird.

[2]) Wie grosse Pfröpfe, die im Blute enthalten sind, den Tod durch Embolie der Lungenschlagader und daher durch Erstickung plötzlich herbeiführen können, so kommt es auch umgekehrt vor, dass Gerinnungsmassen, die eine Zeit lang in einem Ge-

Die Verengerung oder die Verschliessung einer Schlagader hat zur Folge, dass der Geschwindigkeits- oder der Seitendruck oder beide zugleich in der zuführenden Arterie und deren Seitenzweigen wachsen, in den unterhalb der regelwidrigen Stelle liegenden Schlagaderästen dagegen sinken und beide Arten von Veränderungen mit der Annäherung an die Verengerungsstelle zunehmen[1]). Bildet sich daher ein Seitenkreislauf in Folge einer Arterienunterbindung aus, so geht der erweiternde Druck von den oberhalb und die Nachgiebigkeit von den unterhalb des gehemmten Bezirkes liegenden Seitenzweigen aus. Beide wirken als Mittel der Druckausgleichung. Sie können daher die in anderen Bezirken des Gefässsystemes auftretende Druck- und Geschwindigkeitserhöhung (§. 475) allmälig beseitigen. Wird die Blutzufuhr eines Theiles gänzlich abgeschnitten, so kommt das Blut zur Ruhe, wenn die Grösse seiner bleibenden Spannung und die der Widerstände gleich sind (§. 455). Die §. 187 angeführte Erfahrung von HAGEN lehrt noch, dass die Verkleinerung des Querschnittes einer z. B. bei einer Amputation durchschnittenen Schlagader der Ausflussmenge des Blutes mehr schadet, als wenn eine gleich grosse Verengerung im Verlaufe der Arterie angebracht wäre.

§. 477. Die wahrscheinlich wesentlich verschiedenen Entartungen der Schlagaderwände, die man unter dem Namen des atherömatösen Vorganges zusammenfasst, verengern oder erweitern die Strombahn, je nachdem die veränderten Massen nach innen hervorragen oder Vertiefungen erzeugen. Bleiben sie klein, so fallen die durch sie hervorgerufenen Hindernisse in den grösseren Gefässen unbedeutender als die Störungen aus, welche die regelwidrige Dichtigkeit und Elasticität der einzelnen Wandstellen nach sich zieht, indem diese im Allgemeinen durch die Fettentartung und die Erweichung dehnbarer, durch die Verknorpelung oder die Verkalkung starrer, in jedem Falle aber unvollkommener elastisch und meist auch rauher werden. Da sich aus §. 187 ergibt, dass Gefässe mit rundem

---

fässe stockten und die beunruhigendsten Folgen hervorriefen, rasch fortgeschwemmt werden und hierauf alle Krankheitszeichen binnen Kurzem schwinden. Da Mineralsäuren, z. B. Schwefelsäure, die nicht zu sehr verdünnt ist, wenn sie dem Blute einverleibt werden, dasselbe zur Gerinnung bringen oder dicker machen, so kann man auf diese Weise Hunde durch eine schnell wirkende Säureembolie in wenigen Augenblicken tödten. (Vgl. schon MAGENDIE, Leçons sur les phénomènes physiques de la vie. Tome II. Paris 1837. 8. p. 179.)

[1]) Vgl. auch VOLKMANN a. a. O. S. 452 fgg.

Querschnitt den verhältnissmässig geringsten Widerstand geben, so wird dieser zunehmen, so wie die Entartungen die Form der gefüllten Schlagader ändern.

§. 478. Die krankhaft nachgiebigen Wandstellen dehnen sich um so leichter aneurysmatisch aus, je stärkeren Drucken sie ihrer Gestalt oder der regelwidrigen Bedingungen wegen ausgesetzt sind. Die §. 187 fgg. erwähnten Folgewirkungen werden hier ihre reine Anwendung finden und für die Beurtheilung der Einzelverhältnisse maassgebend sein, wenn die Erweiterung nur mit flüssigem Blute gefüllt ist. Enthält sie geronnene Blutmassen, andere feste Ablagerungen oder Eingeweidewürmer, so wirken diese als Zwischenkörper, die Strudel erzeugen, demgemäss Druck aufzehren (§. 186), die Geschwindigkeit von ihrer der Achse parallelen Bahn ablenken und daher die Gefahr der Zerreissung vergrössern (§. 33 fgg.). Der Puls kann in beiden Fällen verschieden ausfallen. Dehnt sich der mit flüssigem Blute gefüllte Sack während der Kammerzusammenziehung stärker aus, so wird man einen schwächeren Puls unterhalb desselben haben, sonst dagegen nicht. Muss sich das Blut seine Wege zwischen Gerinnseln suchen, ohne dass die Wände des Sackes merklich nachgeben, so wird der Puls zwischen dem Herzen und dem Aneurysma in demselben Maasse voller und stärker und jenseit schwächer erscheinen, als beträchtlichere Widerstände der Blutbewegung entgegenarbeiten. Man kann zugleich eine schon ohne alle Aufzeichnung merkliche Pulsverspätung haben, wenn die Bahnen der Umwege eine grössere Zeit aufzehren. Die Dauer der Verengerung und die der Erweiterung werden in anderem gegenseitigen Verhältnisse als gewöhnlich stehen und die Athmungseinflüsse jenseit des Sackes schwächer als sonst ausfallen. Kann sich dieser beträchtlich dehnen, während überdies Hindernisse an dem Ausgangsbezirke vorhanden sind, oder erschweren die Gerinnsel den Durchgang in hohem Grade, so ereignet es sich, dass der Puls in einzelnen oder allen später folgenden Schlagadern gänzlich mangelt [1]). Aortenaneurysmen erzeugen auch oft verschiedene Pulse an den beiden Speichenschlagadern [2]).

§. 479. Eine Pulsadergeschwulst berstet, so wie der absolute auf die Flächeneinheit bezogene Blutdruck (§. 32) den derselben Einheit entsprechenden Festigkeitsmodul der entarteten Stelle der

---

1) Marey und Brondgeest in Marey, Physiologie de la circulation p. 457.

2) Marey a. a. O. p. 461. Fig. 167—174.

Gefässwand übertrifft. Jede andere Wandung, z. B. die Muskeln und die Haut eines Zwischenrippenraumes[1]) können dann noch eine schützende Hülle liefern, so dass die tödtliche Verblutung dem Risse nicht unmittelbar nachfolgt. Da sich die Stärken der Wände zweier gleichartiger Röhren wie die Producte der Durchmesser ihrer Hohlräume in die Druckhöhen verhalten[2]), so schadet eine aneurysmatische Erweiterung nicht bloss durch die Verdünnung der Wand, sondern auch durch die Vergrösserung des Querschnittes. Die Entartung der dünneren Wände kleinerer Schlagadern stört in Verhältniss zu dem in ihnen möglichen Blutdrucke mehr als die der dickeren Wandungen der grösseren Arterien. Jene zerreissen daher auch häufiger und erzeugen dann apoplektische Ergüsse ohne vorangegangene aneurysmatische Ausdehnungen. Die Fettentartung ihrer Wände, die man in Schlagflüssen häufig findet, führt sie leicht herbei, so wie irgend eine Ursache den Wanddruck verstärkt.

§. 480. Da die Kalkmassen, die man in den Wänden der Schlagadern oder den Herzklappen findet, den wahren Knochenbau nie besitzen, so sollte man hier immer nur von einer Vererdung oder Verkalkung, nie aber von einer Verknöcherung[3]) sprechen. Wiederholt sich diese Veränderung oder eine andere Art örtlicher Verhärtung im Laufe eines grösseren Gefässbezirkes so oft, dass die Dehnbarkeit des Rohres wesentlich beschränkt und die elastische Rückwirkung (§. 448) fast unmöglich wird[4]), so fehlt auch der Hauptnutzen, den die Eigenthümlichkeit der Blutaderwände für den Blutlauf erzeugt (§. 440). Die nothwendiger Weise unebenere Innenfläche und der nicht kreisförmige Querschnitt des gefüllten Rohres führen zu einem bedeutenden Gleitungswiderstande (§. 178) und zu öfteren Stössen, die durch Zurückwerfung und Wirbelbildung schaden. Diese Einflüsse wirken ungünstiger, weil der Mangel der Erweiterung des Rohres die hindernden Flächenwirkungen vergrössert (§. 204 fgg.). Der ganze Gefässbezirk nimmt weniger Blut auf. Dieses schreitet nach dem Ende des Pulsstosses langsamer fort oder kommt dann selbst zur Ruhe. Es erstarrt, wenn seine Zusammensetzung die Gerinnung überhaupt erleichtert. Die Blutpfröpfe ver-

---

[1]) Einen Fall der Art erwähnt z. B. Bamberger, Herzkrankheiten. S. 414.

[2]) F. J. v. Gerstner, Handbuch der Mechanik. Bd. II. Prag 1832. 4. S. 17. 18.

[3]) Vgl. schon Harvey a. a. O. p. 218.

[4]) Marey (Physiologie de la circulation p. 416) glaubt aus seinen sphygmographischen Curven (Fig. 116—127) schliessen zu können, dass dann die Pulsbewegung dem Herzschlage ähnlicher wird, als unter regelrechten Verhältnissen.

kleinern die Blutzufuhr des Theiles und erzeugen daher Abmagerung oder brandige Zerstörung je nach dem Umfange und der Geschwindigkeit der Verminderung. Sind längere nachgiebige Stellen zwischen den erhärteten eingeschaltet, so vergrössern sie sich allmälig nach allen Raumdurchmessern, je nach Maassgabe ihres Dehnbarkeitsmoduls und des sie treffenden mittleren Druckes. Liegen sie an den Bogenstücken geschlängelter Gefässe, so treten die gewölbten Bezirke in dem Augenblicke des Pulsschlages weiter hervor (§. 446). Kann man den erhärteten Theil fühlen, so findet man, dass er während der Erweiterung der Herzkammer weniger zurückgeht und eine andere Art von Bewegung während der Zusammenziehung derselben macht. Der Schein eines Doppelschlages kann sich auf diese Art erzeugen.

§. 481. Die Spannung des Arterienblutes hängt von der mit jeder Kammerzusammenziehung ausgegossenen Blutmenge, der während des ganzen Herzschlages in die Haargefässe abfliessenden Blutmasse und der der Zeiteinheit entsprechenden Zahl der Kammerverkürzungen ab. Sie kann daher durch die Einwirkung des Nervensystemes eben so gut wachsen als abnehmen[1]). Die vermehrte Ausgussthätigkeit des Herzens und das von den Nerven abhängige Verkürzungsvermögen der kleineren Schlagadern sind im Stande ein Wachsthum des Druckes herbeizuführen. Steht das Herz in Folge der Tetanisation des herumschweifenden Nerven still, so sinkt die Spannung des Schlagaderblutes um so mehr, je länger die Zusammenziehung fehlt, weil indessen die bleibende Spannung Blut in die Haargefässe treibt (§. 455). Regt man nun einen Herzschlag durch die mechanische Reizung der Kammer an oder kehrt die Herzthätigkeit nach der Beendigung der Tetanisation von selbst wieder, so steigt der Blutdruck in der Halsschlagader plötzlich und erreicht selbst oft eine grössere Höhe, als er vor dem Versuche hatte. Man schloss hieraus, dass die Kammerzusammenziehung mit ungewöhnlicher Kraft eingreift, ohne zu berücksichtigen, dass das Herz während seines Stillstandes von Blut in hohem Grade ausgedehnt worden, sich daher auch später reichlich entleerte und der plötzliche Wurf eine augenblickliche Druckerhöhung (§. 457) zur Folge haben kann. Es wäre auch noch möglich, dass dann die Herzerweiterung noch eine Zeit lang grösser als im regelrechten

[1]) Siehe das Nähere in d. physiol. Path. der Nerven. Abth. II. S. 126—131. 159—168. 182—193.

Zustande ausfiele. Alle das Hirn treffende Einflüsse, welche die herumschweifenden Nerven nachdrücklich anregen, setzen die Spannung des Schlagaderblutes herab. Andere Bedingungen können sie erhöhen. MAGENDIE sah den Blutdruck in der Carotis eines Hundes steigen, als eine brünstige Hündin in das Zimmer lief. Ein plötzlich eingreifender heftiger Schmerz kann ebenfalls die Spannung der Körperarterien erhöhen. Die Aether- oder die Chloroformbetäubung führt nach VIERORDT und GALL [1]) zu einer Vergrösserung und, wenn die Betäubung durchgreift, zu einer Abnahme des Druckes in der Hals- oder der Schenkelschlagader von Hunden. BLAKE beobachtete ein Sinken der Carotidenspannung nach tödtlichen Einspritzungen von Salpeter, Strychnin, Digitalis, Tabak oder Euphorbium. MUNK, LEYDEN und ROSENTHAL [2]) sahen den Blutdruck in der Schenkelarterie von Hunden herabgehen, wenn sie Phosphorsäure in die Drosselblutader nach der Vergiftung mit Curare eingespritzt hatten. Das Ergebniss änderte sich nicht, wenn auch früher die herumschweifenden Nerven getrennt worden waren. Der Druck bei den verschiedensten Todesarten kann bis auf 10 Mm. sinken, ehe das Leben endet (§. 468).

§. 482. Wir haben §. 193 die von VOLKMANN [3]) und VIERORDT [4]) gebrauchten Vorrichtungen kennen gelernt, mittelst deren sie die Schnelligkeit der Blutbewegung in den grösseren Gefässen auf dem Versuchswege [5]) bestimmten. Da die gefundenen Secundengeschwindigkeiten des Blutes der Halsschlagader von sieben Hunden die Werthe von 106, 226, 256, 273, 301, 322 und 342 Millimetern

---

[1]) J. B. GALL in Vierordt's Arch. d. physiol. Heilk. 1856. S. 269—274.

[2]) PH. MUNK und E. LEYDEN, Die acute Phosphorvergiftung. Berlin 1865. S. S. 132—136 und S. 142.

[3]) VOLKMANN a. a. O. Taf. III. Fig. 1—4.

[4]) K. VIERORDT, Die Erscheinungen und Gesetze der Stromgeschwindigkeiten des Blutes. Zweite Ausgabe. Berlin 1862. S. Taf. I und II, wo auch die mit dem Hämotachometer verbundene Schreibvorrichtung und zwei Proben der Blutgeschwindigkeitscurven gezeichnet sind. Die im Hauptprincipe ähnliche Vorrichtung von CHAUVEAU findet sich abgebildet bei MAREY, Physiologie de la circulation. p. 156.

[5]) Die älteren zahlreichen Berechnungen von KEIL (HALLER, de c. h. f. Tom. II. p. 362. Tom. IV. p. 26—29), HALES (a. a. O. p. 24. 25. 26. 35. 36), SAUVAGES (Histoire de l'Acad de Berlin. 1755. Berlin 1757. 4. p. 34—55) beruhen zum Theil auf willkürlichen Annahmen und weichen daher unter einander in hohem Grade ab. KEIL kommt auf eine Secundengeschwindigkeit von 1,98 Meter für das Blut in der aufsteigenden Aorta des Menschen. HALES findet 1,89 Meter. Derselbe Werth beträgt nach ihm im Hunde 3 bis 4 Meter. Man sieht, dass alle diese Zahlen zu gross ausfielen.

gaben[1]) und daher die Durchschnittsgrösse von 261 Mm. kein unzweifelhaftes Mittel bildet, so wollen wir ¼ bis ⅓ Meter als runde Zahlen für die Secundenschnelligkeit des Carotidenblutes erwachsener Hunde annehmen[2]). Das Toricelli'sche Gesetz[3]) (§. 124) gibt eine Geschwindigkeitshöhe von 6 Millimeter Blutsäule oder kaum einen halben Millimeter Quecksilber selbst für den höheren Werth von ⅓. Der Geschwindigkeitsdruck beträgt daher einen nur kleinen Theil des Gesammtdruckes, den die Manometerversuche anzeigen. Dieses erklärt auch, wesshalb man die gleichen Druckwerthe bei endständiger wie bei wandständiger Einsetzung (§. 456) erhält. Eine nähere Betrachtung kann zeigen, von welchen Gesichtspunkten überhaupt wir die Geschwindigkeitsverhältnisse auffassen müssen.

§. 483. Theilt sich eine Schlagader in zwei Aeste, so ist fast immer die Summe der Querschnitte der beiden Zweige grösser als die des Stammes. Man pflegt die Spaltung der Bauchaorta in die beiden gemeinschaftlichen Hüftpulsadern des Menschen als Ausnahme dieser Regel nach den an der Leiche angestellten Messungen anzuführen[4]). Es wäre aber möglich, dass eine grössere Dehnbarkeit der Zweige den Unterschied im Leben theilweise oder gänzlich ausgleicht. Da das Querprofil des gesammten arteriellen Flussbettes mit den Verästelungen ausserordentlich zunimmt, so kann man sich das Ganze unter dem Bilde eines abgestutzten Kegels denken, dessen kleinere Fläche der arteriösen Mündung einer Herzkammer und dessen Grundfläche der Gesammtsumme der Querschnitte der Haargefässe der Lungen oder der Körpertheile entspricht. Die Geschwin-

---

[1]) Vierordt a. a. O. S. 100. 101.

[2]) Man pflegt die Secundengeschwindigkeit der grösseren Flüsse zu 3 und die der reissendsten Bergströme zu 6 Metern zu schätzen. Das Carotidenblut würde also ungefähr 18 bis 24 Mal so langsam strömen.

Chauveau, Bertolus und Laroyenne (Gazette médicale de Lyon. 1861. p. 534—536. 558—560) glaubten eine Secundenschnelligkeit von 0,52 Meter in den grossen dem Herzen benachbarten Schlagadern des Pferdes gefunden zu haben. Die gebrauchte Vorrichtung gestattete aber keine ganz zuverlässigen Bestimmungen. Siehe Vierordt, Stromgeschwindigkeiten. Zweite Ausgabe. S. 212.

[3]) Diese und die folgenden Bestimmungen setzen immer $g = 9{,}81$ Meter voraus. Siehe §. 23. Anmerk. 1.

[4]) Ich fand z. B., dass sich der Querschnitt der Unterleibsaorta eines Menschen dicht über der Theilung zur Summe der Querschnitte der beiden Hüftpulsadern wie 1:0,98 verhielt. Siehe Lehrb. der Physiol. Zweite Aufl. Bd. I. S. 461—464, wo noch andere hierher gehörende Querschnittsbestimmungen von Schlagadern verzeichnet sind. Vgl. auch Canstatt's Jahresbericht. 1856. S. 76. 77.

digkeit muss daher mit der Entfernung vom Herzen und der Gesammterweiterung abnehmen[1]) (§. 157). Die Vertheilung der einzelnen Schnelligkeiten auf die verschiedenen Schlagaderstämme fällt ungleich aus, weil diese verschieden grosse Hindernisse der Bewegung vermöge der Krümmungen, der Verzweigungen und der vorliegenden Blutsäulen selbst für die gleichen stossenden Drucke entgegensetzen. Jede Geschwindigkeitsbestimmung in einer bestimmten Schlagader gibt einen Einzelwerth, der nur sehr beschränkte Rückschlüsse auf die Schnelligkeitsgrössen anderer Gebiete des Gefässsystemes gestattet. Man bemühte sich z. B., die Geschwindigkeit am Anfange der Aorta zu berechnen, indem man die Querschnitte der eingespritzten zwischen ihr und der Carotis abgehenden Hauptstämme an demselben Thiere maass, an dem man die Blutgeschwindigkeit der Halsschlagader bestimmt hatte. VOLKMANN[2]) fand auf diese Weise 256 bis 369 Millimeter für die Secunde in der Aorta des Hundes[3]), 326 bis 706 Mm. in der der Ziege, 496 Mm. in der des Pferdes und 214 bis 993 Mm. in der des Schaafes. Man ist allerdings nicht sicher, dass die eingespritzten Schlagadern dieselben Querschnitte wie die mit Blut gefüllten lebenden haben. Dieses würde aber nur untergeordnete Irrungen herbeiführen. Die Hauptsache liegt vielmehr darin, dass der Widerstand in der Gesammtverzweigung jeder Carotis und in der absteigenden Aorta ein anderer als in der der Schlüsselbeinschlagader ist. Tritt also das Blut mit einer gewissen Geschwindigkeit in die aufsteigende Aorta ein, so wird sich diese gewissermaassen in eine Anzahl ungleicher Theile für die absteigende Aorta, jede der Carotiden und der Schlüsselbeinschlagadern sondern. Man ist daher nicht berechtigt, auf das Ganze aus einem einzelnen Bruchtheile ohne Kenntniss der übrigen zurückzuschliessen.

§. 484. Manche ältere und neuere Forscher[4]) versuchten die Blutgeschwindigkeiten aus den Ausflussmengen angeschnittener Gefässe zu bestimmen, ohne in Betracht zu ziehen, dass dann die

---

[1]) Diese Ursache der Schnelligkeitsverminderung wurde zuerst von COLE hervorgehoben. Siehe HALLER, de p. c. h. f. Tom. IV. p. 26.

[2]) VOLKMANN a. a. O. S. 208.

[3]) Führt man die von HALES (Haemostatique p. 33) gemachte Schätzung auf französisches Maass zurück, so erhält man 383 Millimeter für den Durchgang des Blutes durch die Aortenöffnung des Menschen. Er (a. a. O. p. 32) nimmt dagegen 734 Mm. für den Hund an.

[4]) Siehe VIERORDT a. a. O. S. 29. 30 und 175.

Widerstände ganz andere als bei unversehrtem Gefässsysteme sind[1]). Nur VIERORDT[2]) bemühte sich, den Unterschied durch die Herstellung einer engen Ausflussöffnung, welche denselben Seitendruck wie im Leben hervorrief, auszugleichen, überzeugte sich aber von der Unsicherheit des Verfahrens.

§. 485. Schlagadern, vor denen ein ausgedehnteres Verzweigungsgebiet der Aorta liegt, werden im Allgemeinen eine geringere Geschwindigkeit als die, welche einen kleineren Theilungsbezirk vor sich haben, darbieten (§. 190). VOLKMANN[3]) bekam z. B. 232 Mm. für die Kieferschlagader eines Pferdes. Hatte er sie unterbunden, so gab die Carotis desselben Thieres 306 Mm. VIERORDT[4]) fand 106 bis 342 Mm. für die Halsschlagader und 128 bis 237 Mm. für die Schenkelschlagader von Hunden. Da aber VOLKMANN[5]) 99 Mm. für die Kieferschlagader eines ersten und 232 Mm. für die eines zweiten Pferdes erhielt, so sieht man, dass man hier keinen grossen Werth auf die gefundenen Einzelzahlen der ausserordentlichen Schwankungen wegen legen darf. Man muss sich vielmehr mit der allgemeinen Regel begnügen, dass die Geschwindigkeiten in den untergeordneten Zweigen kleiner als in dem Hauptstamme ausfallen, aus dessen vielfacher Theilung sie hervorgehen. Die Arteria metatarsi des Pferdes gab z. B. desshalb nur 56 Mm.

§. 486. VOLKMANN[6]) und BIDDER und LENZ[7]) brachten einen Druckmesser an der Biegungsstelle des Hämodromometers (§. 193) an, um den Druck und die Schnelligkeit zugleich zu bestimmen. Da die Geschwindigkeitshöhe einen so kleinen Bruchtheil der gesammten Druckhöhe bildet (§. 441), dass sie noch innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler der Manometerversuche fällt (§. 482), so lässt sich die Beziehung zwischen Druck und Geschwindigkeit auf diesem Wege nicht finden. Jene Bemühungen bestätigten aber eine Reihe von Sätzen, die man auch nach dem früher Dargestellten theoretisch herleiten kann. Es ergab sich z. B., dass Blutverluste den Druck und die Geschwindigkeit, diese jedoch nicht in allen

---

1) BOISSIER scheint zuerst den von KEIL begangenen Irrthum erkannt zu haben. Siehe HALLER, de p. c. h. f. Tom. II. p. 362. 366.

2) VIERORDT a. a. O. S. 29. 30.

3) VOLKMANN a. a. O. S. 195.

4) VIERORDT a. a. O. S. 101.

5) VOLKMANN a. a. O. S. 195.

6) VOLKMANN a. a. O. S. 217 fgg.

7) LENZ in Canstatt's Jahresbericht. 1853. Th. I. S. 154—157.

Einzelfällen [1]) herabsetzen, dass keine bestimmte Beziehung zwischen der Blutgeschwindigkeit und der der Zeiteinheit entsprechenden Zahl von Pulsschlägen besteht, dass die elektrische Reizung der herumschweifenden Nerven und die hierdurch bedingte Verzögerung der Herzschläge den Druck und die Schnelligkeit verkleinern und beide sich nach der doppelten Vagustrennung ungleich ändern.

§. 487. Man kann auf diese Weise fast nie unmittelbar angeben, welcher Theil der systolischen Schwankung (§. 454) als Geschwindigkeitshöhe für das Schnelligkeitswachsthum während der Kammerzusammenziehung dient. VIERORDT [2]) erhielt eine Zunahme von 13 bis 60% während der Kammerverkürzung und sah z. B. ein Mal sein hydraulisches Pendel um 3° bis 4° mit den Herzschlägen schwanken, während es der Blutstrom der Schenkelschlagader des Hundes um 25° bis 30° abgelenkt hatte. Die Messung der verschiedenen Wurfweite des Blutstrahles, der aus einer verletzten Schlagader tritt, während der Zusammenziehung und der Erschlaffung der Kammer und die Berechnung des Druckes nach den §. 48 bis 50 erläuterten Normen könnte auch keine zuverlässigen Ergebnisse der Verschiedenheit der Widerstände wegen (§. 483) liefern. Sie wären jedoch wenigstens im Stande, einen ungefähren Begriff von den Verhältnissen zu geben. HALLER [3]) glaubte annehmen zu können, dass sich die beiden Schnelligkeiten wie 3:2 verhalten. VIERORDT's Zahlen führen zu 31 oder 33:25 für die Hals- oder die Schenkelschlagader. Es versteht sich aber von selbst, dass dieses mit der relativen Dauer der Zusammenziehung und der Erschlaffung des Herzens, der Menge des ausgegossenen Blutes, der Grösse der Widerstände in einer und derselben Schlagader wechseln und der Unterschied nach den Haargefässen hin oder nach der Aufzehrung der Druckerhöhung durch Gleitungs- und andere Widerstände überhaupt abnehmen wird. Man darf mit Sicherheit behaupten, dass ein verhältnissmässig grosser Theil der systolischen Druckverstärkung zur Erhöhung der Geschwindigkeit in allen Fällen verwendet wird.

§. 488. Jeder Einfluss, der eine Schlagader verengt, erzeugt zwei einander entgegengesetzte Wirkungen. Die Abnahme des

---

[1]) Der geringe Werth des Geschwindigkeitsdruckes kann natürlich leicht zu Täuschungen führen.

[2]) VIERORDT a. a. O. S. 146 und 201—206 und in Curven auf dem Kymographion aufgezeichnet Tab. II. Fig. 1. 2.

[3]) HALLER a. a. O. Tom. IV. p. 119.

Querschnittes hat einerseits eine Vergrösserung der Geschwindigkeit zur Folge (§. 157). Sie vermehrt aber anderseits die Gleitungswiderstände (§. 178) und setzt auf diese Art die Schnelligkeit herab (§. 59). Die Erweiterung wirkt in beiderlei Hinsicht entgegengesetzt. Die Folgen einer jeden Durchmesseränderung einer Schlagader hängen also von der Resultante oder dem Unterschiede des Wechsels des Querprofils und des der Gleitungswiderstände ab. Sie fallen daher stets in positivem oder negativem Sinne kleiner aus, als sich von einem der beiden Einflüsse allein erwarten liesse. Da die gesunden Schlagadern nur geringe Adhäsions- und Reibungscoëfficienten besitzen (§. 464), so lässt sich erwarten, dass in der Regel die Wirkungen der Verengerung oder der Erweiterung die Oberhand behalten. Dieses kann sich jedoch auch leicht ändern. Spallanzani und Haller[1]) glaubten z. B. bemerkt zu haben, dass das Blut in dem vor einem künstlichen oder natürlichen Aneurysma liegenden erweiterten Theile langsamer als unter gewöhnlichen Verhältnissen ströme. Führt die Vergrösserung des Flussbettes der Pulsadergeschwulst zur Ruhe oder zu einer sehr geringen Schnelligkeit der Blutbewegung, so gerinnt dieses (§. 478). Die festen Massen, die auf diese Art dem Strome entgegentreten, verstärken den Druck oberhalb und erniedrigen ihn unterhalb, so dass sich die Schlagader dort erweitert und hier eher verengert. Das Hinderniss verkleinert aber zugleich die Geschwindigkeit. Bilden sich desshalb neue Blutgerinnsel oder verliert die Innenhaut der Schlagader an Glätte, weil sie atheromatös entartet ist, so werden die Gleitungswiderstände zu- und die Schnelligkeit noch mehr abnehmen.

2. Federkraft und Verkürzungsvermögen der Schlagadern.

§. 489. Der Eingriff, der einen elastischen Körper in Spannung versetzt, erzeugt zugleich eine Kraft, die nach dem Grundsatze der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung in einer ihm entgegengesetzten Richtung thätig ist. Sie eignet sich daher, eine Bewegung nach dem Ende des Druckes zu unterhalten. E. H. Weber[2]) ver-

[1]) Haller, de p. c. h. f. Tom. IV. p. 31.

[2]) E. H. Weber, De pulsu, resorptione, auditu et tactu. Lipsiae 1834. 4. p. 8. 9 und F. Hildebrandt, Handbuch der Anatomie des Menschen. Vierte Ausgabe. Besorgt von E. H. Weber. Bd. III. Braunschweig 1831. 8. S. 70. 71.

gleich auch in diesem Sinne die elastische Rückwirkung der Schlagadern während der Kammererweiterung mit der Thätigkeit der in dem Windkessel der Feuerspritzen enthaltenen Luft, die während des Einpumpens des Wassers zusammengedrückt den Flüssigkeitsstrahl noch hervorschiessen lässt, nachdem der äussere Druck aufgehört hat[1]). Das Verkürzungsvermögen der Schlagadern beschränkt im Allgemeinen die elastische Dehnung. Es führt zu einem Beharrungszustande, der das Gefäss einem starren Rohre ähnlicher macht. Die Federkraft und die Zusammenziehung arbeiten in dieser Hinsicht als Gegenfüssler, die sich wechselseitig beschränken.

§. 490. Es ist nicht gerechtfertigt, wenn man die Anwesenheit von Faserzellen, wie sie sich aus den einfachen Muskeln darstellen lassen, für einen Beweis des Verkürzungsvermögens der Schlagadern ansieht. Man weiss nicht bestimmt, ob sich alle Gebilde dieser Form zusammenziehen. Andere Elemente können sich überdies ebenfalls verkürzen. Die mikroskopische Untersuchung berechtigt daher auch nicht zu der Behauptung, dass ein Schlagaderzweig sich stärker verengern könne als ein anderer, weil er mehr Faserzellen dargeboten hat[2]). Die physiologische Untersuchung, die hier allein entscheidet, lehrte, dass sich die Arterien auf örtliche Reize auch örtlich einschnüren, dass diese Wirkung von den Nerven und zwar nicht von den Zweigen eines selbstständigen sympathischen Nervensystemes, sondern von den Wurzeln der Gehirn- und der Rückenmarksnerven abhängt. Man kann sie daher auch von einzelnen Abschnitten des Gehirns, des verlängerten Markes und des Rückenmarkes aus vorübergehend oder für längere Zeiten anregen[3]). Die kleineren Schlagadern erscheinen in dieser Hinsicht empfindlicher als die grösseren, die verhältnissmässig mehr elastische Fasern enthalten und desshalb auch den Gegenwirkungen der verkürzbaren Elemente (§. 489) kräftigeren Widerstand leisten[4]). Die Zusammen-

---

[1]) Die Abbildung einer Vorrichtung, welche den periodischen Ausfluss aus einer starren und den ununterbrochenen aus einer elastischen Röhre unter dem Einflusse periodischer Stösse versinnlichen kann, gibt Marey, Physiologie médicale de la circulation. p. 128.

[2]) Das Darstellungsverfahren und die individuellen Verschiedenheiten machen sich hier in dem Maasse geltend, dass solche Bestimmungen selbst einen nur bedingten anatomischen Werth haben.

[3]) Siehe das Nähere in der phys. Path. der Nerven. Abth. II. S. 183—192. Vgl. noch Ludwig und Thiry in den Sitzungsber. d. Wien. Akad. Bd. LIII. 1864. S. 128.

[4]) John Hunter (Versuche über das Blut, die Entzündung und die Schusswunden. Uebers. von Hebenstreit. Bd. I. Leipzig 1797. S. S. 235. 236) schloss schon aus

ziehung führt zunächst zu einer merklichen Verengerung, die sich jedoch wahrscheinlich immer mit einer Längenabnahme verbindet. Ob auch eine selbstständige Erweiterung an irgend einer Schlagader auf diesem Wege erzeugt wird, bleibt vorläufig dahingestellt.

§. 491. SCHIFF [1]) entdeckte zuerst, dass das Ohr der Kaninchen das Spiel der Verkürzungswirkungen der Schlagaderwände in einem unversehrten Körpertheile unmittelbar zeigt. Schwarze Thiere eignen sich im Allgemeinen zu dieser Untersuchung besser als weisse. Grosse liefern oft eine stärkere und reichlichere Blutgefässverästelung als kleine. Hält man das Ohr gegen das Licht, so sieht man, dass eine Schlagader abc Fig. 22 in der Mitte emporsteigt und dabei meist einen stärkeren Seitenast bd abgibt. Die zahlreichen, aber verhältnissmässig groben Netzzweige derselben ergiessen sich in die absteigenden Blutadern ef und gh. Die Schlagader abc mit oder ohne bd verengt sich von Zeit zu Zeit und zwar nicht selten bis zu scheinbarem Verschwinden ihres Lumens. Die Netzgefässe entleeren sich so sehr, dass man viele derselben nicht mehr erkennt und das ganze Ohr in auffallendem Grade erblasst. Man kann das Gleiche durch das Zusammendrücken der Carotiden künstlich erzeugen. Die Blutadern ef und gh verschmälern sich dabei. Hat dieser Zustand einige Zeit gedauert, so sieht man den Blutstrom in dem Stamme abc ziemlich rasch emporsteigen. Die Netzgefässe füllen und die Venen erweitern sich. Man hat jetzt die schönste Einspritzung des Ohres, bis sie wiederum in Folge der neuen Schlagaderverengerung schwindet. Die Wechselerscheinungen wiederholen sich in vielen Kaninchen mehrere Male in der Minute. Man muss aber in einzelnen länger warten, ehe sie auftreten. Erschreckt man das Thier während der Erweiterung, trepanirt man

Fig. 22.



Gründen, die freilich keine Beweiskraft haben, dass die kleineren Schlagadern verkürzbarer als die grösseren seien.

[1]) SCHIFF in Vierordt's Arch. d. physiol. Heilk. Bd. XIII. 1854. S. 523—527.

es oder verletzt es sonst bedeutend, so erblasst in der Regel das Ohr. Die Angst des Kaninchens bleibt oft wirkungslos, wenn die Erregung in den Zeitabschnitt der Verkürzung fällt. Man kann über das Ohr leise hinstreichen, ohne eine Veränderung zu erzeugen. Ein starker örtlicher Druck dagegen führt zu einer ihm entsprechenden Verengerung der Schlagader, die nach einiger Zeit allmälig schwindet. Sie kann aber während der Erweiterung der übrigen Gefässe fortdauern. Hitze oder Kälte sind ebenfalls im Stande, die bedeutendsten Verengerungen und späteren Erweiterungen herbeizuführen. Es kommt oft vor, dass ein Schlagaderzweig eine Zeit lang zum Theil gefüllt bleibt, wenn sich der Stamm möglichst verengt hat oder umgekehrt.

§. 492. Der Durchmesserwechsel hängt weder von dem Herzschlage noch von der Athmung ab. Beide Ohren verhalten sich unabhängig von einander. Hat man den Halstheil des sympathischen Nerven oder die untere oder die obere Ciliospinalgegend des Rückenmarkes verletzt, so erweitern sich in der Regel die Ohrgefässe und das Ohr wird wärmer. Die Galvanisation des oberen Abschnittes des getrennten Sympathicus oder der entsprechenden Bezirke des centralen Nervensystemes führen zur Verengerung der Blutgefässe und zur Wärmeabnahme im Ohre. Einzelne Kaninchen liefern diese Wirkungen nicht, wenn man den Sympathicus, sondern nur wenn man den Hals-Ohrnerven (N. auricularis cervicalis) trennt oder reizt. Der periodische Wechsel scheint zu fehlen, so wie man die erwähnten Gefässnerven durchschnitten hat. Er kann aber später nach VULPIAN wiederkehren und sogar häufiger auftreten, wenn die anhaltende Blutgefässerweiterung abgenommen hat. Einzelne örtliche Einschnürungen und eine Art von wurmförmiger Bewegung werden schon früher bemerkt.

§. 493. Diese Thatsachen lehren, dass ein in seinen Einzelnheiten noch unbekannter Einfluss, der auf die Nerven wirkt, die grösseren und die kleineren Schlagadern des Kaninchenohres nachdrücklich verengt. Er erlahmt später, macht sich aber nach einiger Erholungszeit von Neuem geltend. Dieser selbstständige Wechsel war der Grund, wesshalb man von einem Ohrherzen des Kaninchens sprach. Man darf aber annehmen, dass man hier keine ausnahmsweise Wirkung, sondern nur einen wegen seiner Durchsichtigkeit geeigneten Ort hat, eine vermuthlich weit verbreitete Erscheinung wahrzunehmen. Wie zarthäutige Frauen nicht bloss an den Wangen, sondern auch am Kinne, der Stirn oder den Ohren

erröthen, wie jeder Mensch an der ganzen Gesichtshaut blass wird, so erröthet und erblasst das Kaninchen an seinem Ohre, weil hier die günstigsten Bedingungen für die Sichtbarkeit des Füllungswechsels der Blutgefässe vorliegen. Man erkennt hier zugleich unmittelbar, wie die Blutsäule in die Schlagader (abc Fig. 22) eindringt, sich allmälig Bahn bricht und den nöthigen Hohlraum schafft, wenn es die Zusammenziehung des Rohres nicht mehr verbietet.

§. 494. Die Versuche, die man mit der elektrischen Reizung anstellt, fügen noch einige Thatsachen hinzu. Leitet man die Schläge eines Magnetelektromotors durch eine der kleineren Schlagadern des Gekröses des Frosches, so erhält man die Zusammenziehung. Wird dagegen die Erregung bis zur Lähmung fortgesetzt, so erweitert der Blutdruck den weniger widerstehenden Bezirk und dehnt ihn sackartig aus [1]). Die Kälte und die Hitze können eine ähnliche doppelte Wirkung sogleich oder im Laufe der Zeit möglich machen.

§. 495. Die hydraulischen Folgen der Zu- und der Abnahme des Querschnittes der Schlagader lassen sich nach den §. 187 fgg., §. 192 fgg. und §. 476 erläuterten Grundsätzen beurtheilen. Wir werden sogleich sehen, in welcher Art sie den Puls zu ändern vermögen. Verkleinert sich der Rauminhalt eines Gefässbezirkes, weil sich alle seine mittleren und feineren Schlagadern verengern, so muss eine grössere Blutmasse zu anderen Theilen, die mit dehnbaren Gefässen versehen sind, strömen. Die plötzliche Abkühlung der Haut kann daher eine bedeutende Blutmenge nach innen treiben und das Bersten einer Pulsadergeschwulst, grösseren Druck oder Zerreissung der Gefässe im Gehirn und desshalb Schwindel, Betäubung oder Schlagfluss bedingen. Die Folgen der Zusammenziehung der Schlagaderwände greifen stärker durch, wenn sie nicht bloss die in der Zeiteinheit durchfliessende Blutmenge verkleinern, sondern auch die Widerstände beträchtlich erhöhen, weil der nachtheilige Einfluss der Reibung grösser als die durch die Querschnittsverkleinerung erzeugte Geschwindigkeitszunahme ausfällt und viele Schlagadern, die dem Poiseuille'schen Gesetze nicht gehorchten, diesem der Verengerung wegen unterworfen werden (§. 179 fgg.). Man erhält dann eine örtliche Abnahme der durchsetzenden Blutmenge, die von Virchow sogenannte Ischämie oder die Stypsis, wenn sie durch einen Gefässkrampf bedingt wird.

---

[1]) Siehe schon E. H. Weber und Ed. Weber in d. Berichten der sächsischen Gesellschaft. 1846. S. 93.

3. Pulswellen und Wellenzeichner.

§. 496. Weitbrecht[1]) hob zuerst hervor, dass der Puls der Hals- und der der Speichenschlagader der Zeit nach nicht zusammenfallen. Wedemeyer, Arnot, Stokes, Liskowius und E. H. Weber[2]) bestätigten diese Bemerkung. Weber fand keinen merklichen Zeitunterschied zwischen dem Klopfen der Achsel- und der äusseren Kieferschlagader. Er schätzte dagegen das Intervall zwischen dem Pulse der letzteren und der Fussrückenarterie (A. metatarsea) zu

---

[1]) Seine Worte sind: Deprehendo pulsum arteriae jugularis (in meo corpore) non esse simultaneum cum pulsu arteriae carpi. (Comment. Petrop. Tom. VIII. 1735. Petropoli 1740. 4. p. 317.) Es bildet nur eine Wiederholung dessen, was noch heute oft vorkommt, dass man diesen Ausspruch für einen Satz erklärte, der mit den Gesetzen der Physik in Widerspruch stehen sollte. (Siehe Haller, De p. c. h. f. Tom. II. p. 358.) Es war überhaupt Sitte, die beiden Arbeiten von Weitbrecht über den Kreislauf (De circulatione sanguinis cogitationes physiologicae. Comm. Petrop. Tom. VI. 1733. Petropoli 1738. 4. p. 276—301 und Tom. VII. 1735. Petropoli 1740. 4. p. 283—330) nicht zu berücksichtigen und sogar zu den Zeiten der Haller'schen Schule zu tadeln, obgleich sie eine für ihre Zeit merkwürdig klare Anwendung der physikalischen Gesetze enthalten. Nur Rudolphi (Physiologie. II. 2. S. 305) erwähnt sie mit verdientem Lobe. Weitbrecht hebt z. B. in der ersten Abhandlung hervor, dass die nächste Wirkung der Zusammenziehung der linken Kammer die Oeffnung der halbmondförmigen Klappen und die Ueberwindung der Trägheit der vorliegenden Blutsäule sei (p. 281). Er gibt die richtige Auffassung der elastischen Rückwirkung der Schlagadern (p. 283), betont die Nothwendigkeit der Gleichheit des Zu- und des Abflusses an dem Anfange und dem Ende des Schlagadersystemes (p. 286) und bemerkt auch, dass eben so viel Blut in die Lungenvenen übertritt, als durch den Herzschlag in die Lungenschlagader getrieben wird (p. 286). Er erläutert, dass die gleichen Blutmengen durch alle vier Herzhöhlen gehen müssen (p. 289), dass die Grösse des von einem Schlagaderstamme aufgenommenen Blutes von der Menge und der Geschwindigkeit des Abflusses durch die Aeste abhängt (p. 290. 291), dass die Querschnittsabnahme der Schlagadern das Blut in die Venen während der Kammererweiterung drückt (p. 297) und das Blut, das einerseits in die Blutadern fliesst, eine entsprechende Menge in die Vorhöfe drängt (p. 298). Die zweite Abhandlung macht auf die ausserordentlichen Widerstände aufmerksam, welche die Haargefässe ihrer Dünne wegen erzeugen müssen (p. 319). Sie beweist, dass es auf Missverständnissen beruhte, wenn man glaubte, dass deren Capillarwirkung das Blut anziehe (p. 328 und 330). Der Ausspruch von Weitbrecht: Vis cordis est elasticitas cordis (p. 295) bringt schon Muskelzusammenziehung und Elasticität in Verbindung. Man findet endlich die für unseren Text wichtigen Worte ausser der schon oben angeführten Stelle: Verosimile est, pulsum, etsi non eodem temporis momento, tamen eodem unius systoles synchronismo per omnem arteriarum tractum continuari. Der Gedanke der grossen Ausdehnung der Pulswelle, den wir hier ausgesprochen finden, blieb bis auf unsere Tage unbeachtet.

[2]) E. H. Weber, De Pulsu etc. p. 1. 2.

$^1/_6$ bis $^1/_7$ Secunde. (Vgl. §. 204 fgg. u. 446 fgg.) Er nahm später[1]) an, dass der Wegunterschied der beiden genannten Pulsstellen 1,32 Meter beträgt. Die Secundengeschwindigkeit der Pulswelle würde hiernach 7,92 bis 9,24 Meter oder im Durchschnitt 8,58 Meter gleichen. Wir haben schon §. 202 gesehen, dass dieser Werth 11,4 bis 12,8 Meter für ein mit Wasser mässig gefülltes Kautschukrohr betrug und sich nur um ungefähr $^1/_8$ bei einer 4,4 Mal so starken Spannung verkleinerte. Die Pulswelle schreitet also jedenfalls nicht wesentlich schneller, sondern eher langsamer fort. Bedenkt man, dass man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenerregung zu 25 bis 30 Metern in der Secunde unter den gewöhnlichen Verhältnissen anschlagen kann und dass sie auf ein Fünftheil dieses Werthes unter den ungünstigsten Nebenbedingungen der Wärme, der Reizstärke und der Empfänglichkeit sinkt[2]), so folgt, dass die Pulswelle keinesfalls mit solcher Langsamkeit in Vergleich zur Nervenwelle abläuft, als man sich dieses vorzustellen pflegt. Die Geschwindigkeit von jener wird mehr als $^1/_4$ von dieser in den gewöhnlichen Zuständen betragen. Sie kann sie aber sogar unter besonders günstigen Bedingungen übertreffen.

§. 497. Es wurde schon §. 204 fgg. dargestellt, wie sich die Pulswelle eines elastischen Rohres gestaltet und §. 208 erläutert, welchen Einfluss der Kammerdruck auf die Wellenform ausübt. Nimmt man 70 Pulsschläge in der Minute für den Erwachsenen an, so dauert jeder Herzschlag 0,85 Secunden. Die für die Kammerzusammenziehung ungünstigste Zeitgrösse wäre 0,28 Secunden (§. 371). Pflanzte sich auch nur die Pulswelle mit einer Secundengeschwindigkeit von 6 Metern fort, so gäben 0,28 Sec. eine Weglänge von 1,68 Metern, also die ganze Körperlänge eines erwachsenen Mannes. Die Blutbahn von dem Herzen zu der Speichenschlagader oder der Rückenpulsader des Fusses geht zwar nicht gerade, so dass desswegen der Weg länger als die kürzeste Entfernung von dem Anfange der Aorta ausfällt. Der Unterschied ist aber nicht so gross, dass er den Satz widerlegte, der Anfang der Blutwelle sei schon jenseit der Stellen, wo die beiden genannten Schlagadern unmittelbar unter der Haut verlaufen, vor dem Ende der Kammerzusammenziehung angelangt. Dieses hat zur Folge, dass sich das gesammte Zwischensystem der Schlagadern innerhalb

[1]) E. H. Weber, Müller's Archiv. 1851. S. 536. 537.
[2]) Siehe Physiol. Path. der Nerven. Abth. II. S. 256. 290. 291.

eines Zeitraumes von weniger als $^2/_5$ oder $^1/_3$ Secunde ausdehnt. HARVEY[1]) verglich schon das Ganze mit dem gleichzeitigen Anschwellen der Finger eines Handschuhes, in den Luft von dem offenen Ende aus einbläst. Wir haben §. 445 gesehen, dass das allmälige Dahingleiten einer kurzen Welle bei dem Pulsfühlen eben nur eine Sinnestäuschung ist, bei der wir die Länge und die Dauer mit einander verwechseln.

§. 498. Diese Verhältnisse erklären es, wesshalb die §. 448 geschilderte Art des Vorrückens der Blutwelle die mit jeder Kammerzusammenziehung eintretende Veränderung nur im Kleinen und unter der Voraussetzung einer geringeren Geschwindigkeit versinnlichen kann. Die Systole erzeugt eine ununterbrochene Bergwelle von mehr als $1^1/_2$ Meter Länge trotz der kurzen Dauer ihres Bestehens. Die Wellenhöhe nimmt von den stärkeren nach den feineren Schlagaderzweigen ab. Sie verkleinert sich im Allgemeinen in gleichem Verhältnisse als die Masse, auf die sie sich vertheilt, zunimmt (§. 201), also zunächst mit der Zahl der Verzweigungen. Aeste, deren Wände einen grösseren Elasticitätsmodul haben, liefern dabei verhältnissmässig geringere Ausweichungen. Die Welle verliert ihren ansteigenden Vordertheil, indem sie in die feinsten Schlagaderzweige und in die Haargefässe gelangt. Die Zusammenziehung der Kammer erzeugt daher auch hier keine merkliche Beschleunigung des Blutlaufes mehr. Hört der Herzdruck auf, so schwellen die Schlagadern von dem Anfange des Arteriensystemes aus rasch ab. Die Geschwindigkeit der Fortbewegung hindert es, dass wir der Wellensenkung von Ort zu Ort folgen können. Diese Auffassung erklärt auch die §. 447 erläuterten Erscheinungen des sichtbaren Pulses.

§. 499. Wir haben schon §. 403 kennen gelernt, wesshalb sich die Herztöne und vorzugsweise der zweite durch das Blut der Schlagadern leichter als durch andere Nachbarmassen fortpflanzen. Dieser Theil des hörbaren Pulses ändert sich natürlich mit den Ventiltönen des Herzens. Drückt man das Hörrohr gegen eine Schlagader, in der man die fortgeleiteten Herztöne nicht mehr vernimmt, so erhält man ein Blasegeräusch, das mit der Zusammenziehung der Kammer oder dem Anfange der Schlagadererweiterung zusammenfällt und von dem Stosse der fortgetriebenen Blutsäule gegen die im Wege stehenden dichteren Massen herrührt. Die Verengerung wirkt hier und in Krankheitsfällen in doppelter Weise.

---

[1]) HARVEY a. a. O. p. 35.

Sie bedingt es, dass die Flüssigkeit anprallt und vermehrt überdies die Zahl der Stösse durch die Bewegungsbeschleunigung. Die Geräusche sind während der Erweiterung der Schlagader am Lautesten. Sie werden stärker erklingen, wenn eine krankhafte Beschaffenheit die Blutmasse weniger zähe und daher leichter beweglich gemacht hat (§. 387). Eine mit flüssigem Blute gefüllte Pulsadergeschwulst oder eine andere Erweiterung kann ein einfaches oder doppeltes Blasegeräusch erzeugen, die Wände mögen starrer oder nachgiebiger sein. Das oft hör- und fühlbare Schwirren in dem Aneurysmasacke erklärt sich aus den wiederholten Stössen des sich durchwindenden Blutes gegen die festen Gerinnungsmassen. Man hat endlich nach NÉLALTON aussetzende Blasengeräusche bei gemischten Pulsadergeschwülsten (Varix aneurysmaticus) des Armes, wenn man diesen gerade aufrecht hält. Es ergibt sich übrigens aus dem früher Dargestellten, dass eine grössere Geschwindigkeit die Tönung nicht bloss verhältnissmässig erhöhen, sondern auch verstärken kann. Die Blasegeräusche, welche Verengerungen erzeugen, sind von HEYNSIUS, TH. WEBER, CHAUVEAU und MAREY an künstlichen Einschnürungen todter Röhren verfolgt worden.

§. 500. Manche Kliniker sprechen von eigenen auffallenden Arterientönen, die von den Schwingungen der Schlagaderwände herrühren. Sie müssten sich bei der Entartung derselben, besonders der Verkalkung ändern [1]). BAMBERGER [2]) stellt es in Abrede, dass die Geräusche, welche kleine, sonst nicht tönende Pulsadern, wie die Speichenarterie, der oberflächliche Schlagaderbogen der Hand, die Fussrückenpulsader bei kräftigen Herzschlägen oder bei Hypertrophie des linken Ventrikels zu geben pflegen, nur durch Luftschwingungen im Hörrohre erzeugt werden, da man sie eben so gut mit blossem Ohre vernimmt. Die Beobachtung von HOHL, dass das Gebärmuttergeräusch bei jeder Wehe steigend häufiger, lauter und singender wird, auf der Höhe der Wehe schwindet und später wiederum nach und nach zurückkehrt, lässt sich durch die allmälige Verengung der Blutgefässe der zusammengezogenen Gebärmutter erklären.

§. 501. Der fühlbare Puls diente von jeher den Aerzten als Mittel, sich von dem Zustande der Blutbewegung ihrer Kranken zu unterrichten. Die Pulslehre oder Sphygmologie spielte dess-

---

[1]) PICKFORD in Henle und Pfeuffer's Zeitschr. Bd. IV. 1846. S. 231—265.

[2]) BAMBERGER, Herzkrankheiten. S. 96. 97.

halb immer eine bedeutende Rolle in der praktischen Heilkunde. Die Ueberschätzung, die ihr in früheren Zeiten zu Theil wurde, hat selbst heute nicht gänzlich aufgehört. Man fühlt gewöhnlich den Puls an der Speichenschlagader da, wo sie an dem untersten Ende des Vorderarmes nach innen von dem Griffelfortsatze der Speiche verläuft, weil sie hier unter der Haut liegt und gegen den Knochen gedrückt werden kann. Alle Schlagadern, die nicht zu tief und in der Nähe nicht zu weicher Theile liegen, wie die oberflächliche Schläfenschlagader, die äussere Kieferarterie, die gemeinschaftliche Halsschlagader, die Achselarterie, die Schenkelpulsader, die Kniekehlenarterie, die vordere Schienbeinschlagader, die Fussrückenpulsader lassen sich zu dem gleichen Zwecke benutzen. Es kommt häufig vor, dass ein Handrückenast der Speichenpulsader vor der Sehne des langen Daumenstreckers so oberflächlich hinübergeht, dass man den Puls nicht bloss fühlen, sondern auch sehen kann. Ein an einem Faden aufgehängter Ring, den ein Mensch mit wagerecht ausgestrecktem Arme hält, schwingt, wie CHEVREUL und BEHN hervorhoben, pendelartig unter dem Einflusse des Pulsschlages der Armschlagader hin und her. Schlägt man im Sitzen die Beine über einander, so hebt und senkt sich die Fussspitze in merklicher Weise mit dem Pulse, weil die Kniekehlenschlagader des oberen Beines von dem Kniee des unteren beengt wird und der Unterschenkel und der Fuss den Ausschlag fühlhebelartig vergrössern.

§. 502. Die sogenannte Dysphagia lusoria beruht wahrscheinlich nur auf einer erst nach dem Ergebnisse der Leichenöffnung theoretisch erzeugten Vorstellung. Entspringt die rechte Schlüsselbeinpulsader nach aussen von der linken oder überhaupt zu weit nach links, so geht sie oft zwischen einem der untersten Hals- oder dem ersten Brustwirbel und der Speiseröhre, seltener zwischen dieser und der Luftröhre durch. Schlingbeschwerden sollten in einem solchen Falle entstehen können. Dieses ist schon an und für sich unwahrscheinlich, weil die Wurmbewegung der Speiseröhre eine beträchtlichere Druckgrösse als die Blutspannung mit Leichtigkeit erzeugt. FRANDSEN erwähnt auch bei der Beschreibung eines von ihm beobachteten Falles, dass die Schlingbewegungen im Leben nicht gestört waren. Es wäre dagegen möglich, dass der Kranke eine Art von Stoss bei genauerer Beobachtung spürt, ungefähr wie wir den mittelbaren Anstoss des Blutes an den Carotidenkanal nach heftigem Laufen wahrnehmen. Das sichtliche oder

fühlbare Klopfen in der Oberbauchgegend[1]) (Pulsatio epigastrica) kann davon herrühren, dass eine Pulsadergeschwulst in dem Bezirke des oberen Theiles der Bauchaorte oder Hindernisse in der ferneren Blutbahn, die den Stoss in jener Gegend verstärken, gesunde oder krankhaft erhärtete Eingeweide emporheben. Der Herzstoss dürfte nur dann eine bedeutende Wirkung der Art erzeugen, wenn das Herz durch eine Zwerchfellspalte nach dem obersten Theile der Bauchhöhle heruntergesunken ist (§. 416) oder sich eine Kammerhypertrophie mit Herabdrängung des Herzens verbindet. Die Magengegend wird sich dann mit dem Herzstosse heben oder senken, je nachdem die Bewegung des Herzens ihr zu- oder abgewandt ist. Geringere Grade epigastrischer Pulsation sollen in jedem gesunden Menschen vorkommen können. (Vgl. §. 433.)

§. 503. Ein einfaches schon im vorigen Jahrhunderte gebrauchtes und von HÉRISSON und zum Theil von CHELIUS[2]) wiederum aufgenommenes Mittel, den Puls sichtbar zu machen, besteht darin, eine kleine, unten erweiterte und hier am Ende mit Blase überspannte Röhre auf die klopfende Stelle zu setzen, nachdem man sie zum Theil mit Quecksilber oder einer gefärbten Flüssigkeit gefüllt hat. Man nannte später diese Vorrichtung in Frankreich das Sphygmometer[3]). Das Sphygmoskop von ALISON[4]) und der Pulszeichner von NAUMANN entsprechen im Wesentlichen einer solchen Vorrichtung, die natürlich alle von Eigenschwingungen herrührenden Uebelstände darbietet (§. 25 fgg.). Das Sphygmophon von UPHAM[5]) bildet einen elektromagnetischen Apparat, der das Klopfen zweier Stellen durch Glockentöne anzeigt. CZERMAK[6]) hat sich bemüht, das elektrische Verfahren für das freie Markiren des Pulses oder den Gebrauch einer schwingenden Flüssigkeitssäule oder eines Fühlhebels zu verwerthen.

§. 504. Die Untersuchung des Pulses gewann eine neue Seite, als VIERORDT die Aufzeichnung desselben mittelst seines Sphygmo-

---

[1]) J. A. ALBERS, Ueber Pulsationen im Unterleibe. Bremen und Leipzig 1803. 8. S. 2—68.

[2]) Siehe VIERORDT, Arterienpuls. S. 18. 19.

[3]) MAGENDIE, Leçons sur les phénomènes physiques. Tome III. p. 190.

[4]) GROUX, Fissura Sterni congenita. Fig. I.

[5]) GROUX, Ebendas. Fig. I.

[6]) J. N. CZERMAK, Mittheilungen aus dem physiologischen Privatlaboratorium. Heft I. Wien 1864. 8. S. 50—54.

graphen[1]) in die Wissenschaft einführte. Die Linien werden auf dem senkrecht stehenden Cylinder des Kymographion (§. 452) geschrieben. Ein Watt'sches Parallelogramm ist zwischen dem Pinsel oder dem Schreibstifte und dem Bewegungshebel eingeschaltet, damit die Spitze von jenem keinen Kreisbogen, sondern eine senkrechte Linie bei ihrer Hebung beschreibe und daher immer die Cylinderfläche berühre. Der mit einer Aufsetzplatte auf die Speichenpulsader versehene Stab lässt sich an einem beliebigen Orte des Bewegungshebels, der mit einer Gradeintheilung versehen ist, feststellen. Da dieser seinen Drehpunkt hinter dieser Stelle in allen Fällen hat, so bildet das Ganze einen einarmigen Geschwindigkeitshebel, dessen Bewegung von dem Klopfen der Schlagader abhängt. Der von dieser beherrschte Kraftarm ist der kürzere und der den Schreibpinsel tragende Lastarm der längere. Die Gradeintheilung zeigt das Verhältniss beider, mithin die Vergrösserung, unter der die Pulsbewegungen aufgeschrieben werden, an. Zwei Wagschalen, die man mit Gewichten beschweren kann, eine an einem unteren und eine zweite an einem oberen Hebelarme, aequilibriren die Vorrichtung und erleichtern daher die Hebung durch den Stoss des Pulses. Man kann sie zugleich überlasten und demgemäss zu bestimmen suchen, mit welcher Gewichtsgrösse die Schlagader gedrückt wird. Das zur Zusammendrückung der Haut erforderliche Gewicht wird dabei mit eingerechnet. Sie vermindern zugleich die Gefahr der Nachschwingungen, die sich wie in dem Manometer geltend machen können (§. 457). Die Achse des Hebelwerkes hat natürlich die Gesammtsumme des Gewichtes der Vorrichtung auszuhalten. Sie muss daher mit besonderer Sorgfalt zur Verhütung von störenden Reibungen ausgearbeitet sein. VIERORDT[2]) warnte schon mit Recht vor den Trugbildern eines zweischlägigen Pulses (§. 457) und anderer Kunsterzeugnisse, die häufig zum Vorschein kommen, wenn man nicht die richtige Beschwerung getroffen hat.

§. 505. MAREY[3]) lieferte einen für den klinischen Gebrauch berechneten Sphygmographen von kleinerem Umfange, der mit einer

---

[1]) K. VIERORDT, Die Lehre vom Arterienpuls in gesunden und kranken Zuständen. Braunschweig 1855. 8. S. 22. Fig. 6.

[2]) VIERORDT a. a. O. S. 32—34.

[3]) J. MAREY, Recherches sur le pouls au moyen d'un nouvel appareil enregistrateur, le Sphygmographe. Paris 1860. 8. p. 7. Fig. 1. E. J. MAREY, Physiologie médicale de la circulation du sang. Paris 1863. 8. p. 179—183. A. COUSIN, Essai sur le Sphygmographe et ses applications cliniques. Strasbourg 1864. 4. Fig. 3. 4.

Feder versehen ist. Ein sehr zweckmässiger, eine federnde Platte umschliessender Rahmen befestigt ihn an dem Vorderarme des Menschen. Bieten die Pulscurven, die er aufzeichnen lässt, die Merkmale der vielfachen Schläge dar, so drücken sie oft die gemeinsamen Wirkungen des Pulses und der Eigenschwingungen der Vorrichtung (§. 25) aus. Man hat noch die Gefahr, dass die Form des aufsteigenden Curvenstückes zum Theil von dem Widerstande und die des absteigenden von der Rückwirkung der elastischen Feder abhängt. MACH[1]) suchte diese Uebelstände zu verkleinern und CZERMAK[2]) die für möglichst geringe Reibungen nöthige Federspannung herzustellen. Die Unzuverlässigkeit aller Federwerke und die in den Curven häufig kenntlichen Nachschwingungen lehren theoretisch und empirisch, dass man hier eine gefährliche mechanische Vorrichtung zum Grunde gelegt hat. Man bewegt sich daher in einem Kreise, wenn man mit dem Fedcrsphygmographen an todten elastischen Röhren nachweisen will, dass der zwei- oder der vielschlägige Puls ein wesentliches und beständiges Merkmal der Pulsbewegung in elastischen Schläuchen bildet[3]).

§. 506. Ich hatte schon vor einer Reihe von Jahren mit FISCHER versucht, die Schwankungen der Quecksilbersäule des Blutkraftmessers photographisch aufzuzeichnen, um mich von den Reibungen der gewöhnlichen Schreibvorrichtungen zu befreien. CZERMAK[4]) schlug vor, die Pulsbewsgungen in ähnlicher Weise vergrössert abzubilden, indem die klopfende Stelle auf dem Wege eines Lichtbildes jenseit des Hauptbrennpunktes einer Sammellinse eingeschaltet wird und so die durch sie erzeugte Beschattung auf dem Collodium vergrössert erscheint. Er[5]) gab noch einen Pulsspiegel an, der aus einem kleinen, auf der Pulsstelle passend befestigten ebenen Spiegel besteht. Sein Richtreflex zeigt das Klopfen an.

§. 507. Man hat sich die Aufgabe, naturgetreue Pulscurven zu gewinnen, durch zweierlei Umstände erschwert. Das Aufzeichnen auf einem senkrechten Cylinder begünstigt die Eigenschwingungen des Einflusses der Schwere wegen. Das Bemühen, die Pulscurven

---

[1]) MACH in den Sitzungsber. d. Wien. Akad. Bd. XLVI. 1862. S. 157—174 und Bd. XLVII. 1863. S. 33—48 und 53—56.

[2]) CZERMAK a. a. O. S. 71. 72.

[3]) KOSCHLAKOFF in Virchow's Arch. Bd. XXX. 1864. S. 149—175. LANDOIS, Reichert und du Bois' Arch. 1864. S. 77—93.

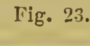
[4]) CZERMAK a. a. O. S. 27. 29.

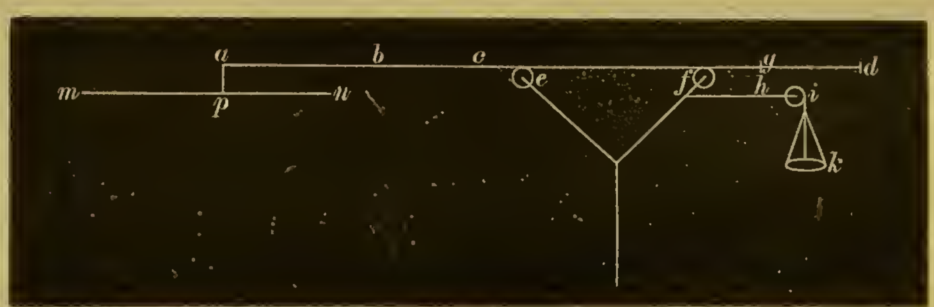
[5]) CZERMAK a. a. O. S. 29—33.

vergrössert zu erhalten, zwingt zu der Einführung eines Spieles kürzerer und längerer Hebelarme, durch welches die ursprüngliche Unrichtigkeit nicht immer naturgetreu wiedergegeben wird. Da man jede Pulscurve unter Vergrösserungsgläsern ausmessen kann, so erzeugt es keinen wesentlichen Nachtheil, wenn man sie in ihrer ursprünglichen Kleinheit aufzeichnet. Die Vorrichtungen werden hierdurch einfacher und desswegen zugleich sicherer.

§. 508. Der wagerechte Gang des Schreibhebels gewährt den Vortheil, dass alle störenden Eigenbewegungen desselben hinwegfallen, wenn er vor jeder unnatürlichen Seitenschwankung durch die Einrichtung des Apparates selbst bewahrt wird. Man könnte in dieser Hinsicht zwei Vorrichtungen, die ich zum Aufschreiben der Muskelcurven benutze, als Sphygmographen gebrauchen, wenn sie hinreichend fein ausgearbeitet würden. Ein sich wagerecht drehender Cylinder gäbe Curven mit geradliniger und eine sich horizontal drehende Scheibe solche mit kreisförmiger Zeitabscisse [1]).

Die erste Vorrichtung lässt den Hebel, ad Fig. 23, auf kleinen gefurchten Rollen laufen. Sie müssten für den Sphygmographen in


Fig. 23.



feinen Spitzen mit möglichst geringer Reibung spielen oder als Frictionsrollen eingerichtet sein. Ist mn die Oberfläche des sich drehenden Cylinders oder der Scheibe, so trägt der auf den Rollen e und f bewegliche Hebel ad den Schreibstift ap. Das Ende d wird an der Pulsstelle befestigt. Die über die Rolle i laufende Schnur h, welche zur Wagschale k geht, ist hinter f an dem Hebel ad so befestigt, dass sie diesen gegen die Pulsstelle andrückt, wenn man das nöthige Gewicht auf k gelegt hat. Der Hebel könnte bei b, c und g aus- und einschiebbar gemacht werden, um seine Länge den mit den verschiedenen Schlagadern wechselnden Bedürfnissen

---

[1]) Siehe über diesen Unterschied die physiol. Path. der Nerven. Abth. I. S. 162—165.

anzupassen. Die Vorrichtung würde es möglich machen, die Grösse der Zusammendrückung der Schlagader und der Nutzwirkung, die sie während jeden Schlages leistet, genauer zu bestimmen.

Ich habe in neuerer Zeit den Hebel ad Fig. 23 an zwei oben und unten in Spitzen laufenden Tragarmen aufhängen lassen, so dass dessen Hin- und Herbewegung leichter als auf Rollen möglich wird. Diese zweite an einer kleinen Säule befestigte Vorrichtung hat unten einen die Rolle i tragenden Stab, den man, wie das an dem Hebel anschraubbare Häkchen, in dem die Schnur h befestigt wird, an der einen oder anderen Seite des Statives anbringen kann, je nachdem man diese zweite Vorrichtung für die Myographie oder die Sphygmographie verwenden will.

§. 509. Eine durch ein festes Hinderniss erzeugte Zurückwerfungswelle kann in entgegengesetzter Richtung bis zu dem Anfange des elastischen, mit Flüssigkeit gefüllten Rohres ablaufen und daher eine Prüfungsstelle desselben zum zweiten Male treffen. Eine neue Druckwirkung vermag der ersten nachzueilen, ehe der elastische Schlauch zu seinem ursprünglichen Querschnitte zurückgekehrt ist. Man hat diese beiden Möglichkeiten in Anspruch genommen, um die doppelschlägigen oder dikrotischen und die selteneren vielschlägigen oder polykrotischen Curven[1]), die der Sphygmograph gab, zu erklären. Marey[2]) dachte zuerst an eine Zurückwerfungswelle, die an der Theilung der Unterleibsaorta in die beiden Hüftpulsadern auftreten sollte. Er glaubte später durch Versuche nachweisen zu können, dass nur die Schwingungen einer tropfbar flüssigen, nicht aber die einer gasförmigen Säule die Erscheinungen hervorrufen. Der Unterschied, den er fand, ist

---

[1]) Landois (Hermann's Med. Centralbl. 1865. S. 466) nennt den Puls anakrot, wenn die Auf- und Niedergänge in dem systolischen und katakrot, wenn sie in dem diastolischen Abschnitte der Curven vorkommen. Er drückt demgemäss den zwei- oder dreischlägigen durch anadikrot, katadikrot, anatrikrot oder katatrikrot aus. Man kann nach ihm eine katadikrote Bewegung des Radialpulses eines jeden gesunden Menschen erkennen, wenn man den Schatten, den die klopfende Stelle erzeugt, mit der Lupe im Sonnenlichte betrachtet. Ich besitze die häufig vorkommende Abweichung, dass ein starker Rückenast der Speichenschlagader unmittelbar unter dem Handrücken zwischen dem Daumen und dem Zeigefinger verläuft (§. 501), an meinen beiden Händen. Man kann daher hier das Klopfen der Schlagader in allen Einzelnheiten deutlich erkennen. Untersuche ich es mit der Lupe, nachdem ich ein Bündel Sonnenlicht auf die entsprechende Stelle geleitet habe, so kann ich nur ein allmäliges und kein stossweises An- und Abschwellen wahrnehmen.

[2]) Marey, Physiologie de la circulation. p. 281.

in der schwachen lebendigen Kraft der Luft begründet. NEUMANN leitete den doppelschlägigen Puls von der Zurückwerfung des Blutes an den halbmondförmigen Taschen der Aorta her und LANDOIS[1]) schloss sich dieser Auffassungsweise im Wesentlichen an. Manche Forscher mühten sich mit Erklärungen ab, wesshalb der Doppelschlag der Puls- oder der Blutadern bald an dem aufsteigenden und bald an dem höchsten oder dem sinkenden Abschnitte der Pulscurven auftritt. Wer die Zähigkeit der Nachschwingungen senkrecht bewegter fester oder flüssiger Körper kennt, wird die Ueberzeugung theilen, dass der grössere Theil der doppelschlägigen Curven, die man in Versuchen mit elastischen Röhren und der Aufzeichnung der Wellen durch eine Federvorrichtung oder einen senkrecht spielenden Hebelapparat erhalten hat, ein Kunsterzeugniss bildete. Dieses kam gerade am Ehesten bei geringen Reibungen und scheinbar leicht spielenden Vorrichtungen zum Vorschein. Schwache Gleitungen des elastischen Rohres und andere kleine leicht zu übersehende Nebenstörungen können noch die Täuschungen vergrössern. Der mit dem Vierordt'schen Sphygmographen vorwurfsfrei aufgezeichnete Puls gibt die einfachen Formen Fig. 24, wenn sich auch der Einfluss der tiefen Ein-

Fig. 24.

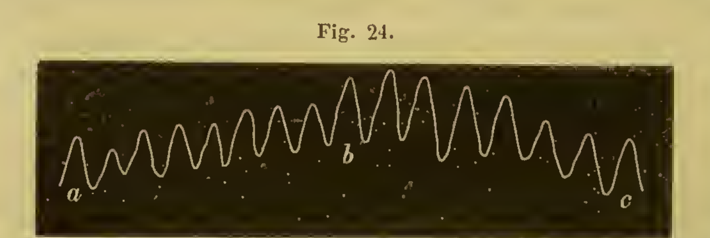
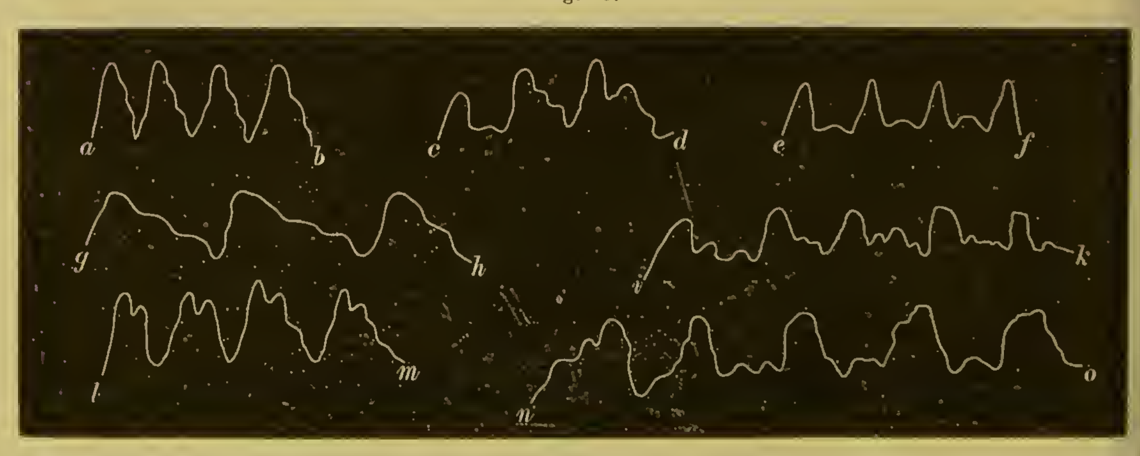


Fig. 25.



athmung in ab und der der kräftigen Ausathmung in bc geltend macht. Man muss dagegen Curven, wie sie Fig. 25 darstellt, oder solche, in

[1]) LANDOIS a. a. O. S. 77—93.

denen die Zeitdauer der Erhebung zu der der Senkung oder der Pause in auffallendem Missverhältnisse steht, nur mit dem grössten Misstrauen aufnehmen. ab und gh Fig. 25 zeigen Nachschwingungen während der Senkung, cd, cf und ik während der Pause, lm während der grössten Pulshöhe und no während der Erhebung und der Pausenzeit zugleich.

§. 510. VIERORDT[1]) fand, dass sich die kürzeste Dauer eines vollen Pulsschlages der mässig belasteten Speichenpulsader des gesunden Menschen zur längsten, wie 1:1,1 bis 1:1,6 verhalten kann. Kranke gaben 1:1,1 bis 1:2,2. Sie schwankte in manchen Herzleidenden um das Zwei- bis Dreifache in kurzer Zeit. Das Anhalten des Athems nach einer tiefen Einathmung verlängerte sie im Durchschnitt um $^1/_{10}$ [2]). Die mittlere Pulsgeschwindigkeit Gesunder oder das Verhältniss der Zeitgrösse, welche die Erweiterung zu der, welche die Verengerung in Anspruch nimmt, gleicht in Gesunden 1:1,06. Man hat jedoch hier Einzelschwankungen, die zwischen 1:0,86 bis 1:1,43 in Gesunden und zwischen 1:0,74 bis 1:1,24 in Kranken liegen[3]). Der Fieberpuls ist keineswegs immer zugleich schneller. Die Wirkung des Fingerhutes erhöht eher die Geschwindigkeit, als dass sie dieselbe erniedrigte[4]). Herzkranke mit sehr unregelmässigem Pulse geben auch bedeutende Schnelligkeitsschwankungen[5]). Gesunde scheinen oft einen aussetzenden Puls zu liefern[6]). Fehler der Aufzeichnung führen jedoch hier leicht zu Täuschungen. Die Zeit des Aussetzens verhält sich zu der Dauer eines Pulsschlages wie 1,0:1,0 bis 2,3:1,0. Die vorangehenden Pulse haben in der Regel eine grössere mittlere Dauer als die nachfolgenden. Die Zeitgrösse der Unterbrechung des Pulsschlages fällt in Herzkranken und vorzugsweise während der Wirkung des Fingerhutes um Vieles kürzer aus als die mittlere Pulsdauer.

§. 511. VIERORDT[7]) fand, dass die durch die grösste Ordinatenhöhe der Pulscurve annähernd gemessene Pulsgrösse der Speichenschlagader des Menschen im Durchschnitt 0,22 Millimeter bis zu 14 Jahren, 0,26 Mm. zwischen 14 und 25 Jahren, 0,34 Mm. zwischen

---

[1]) VIERORDT, Arterienpuls. S. 82.
[2]) VIERORDT a. a. O. S. 202.
[3]) VIERORDT S. 100.
[4]) VIERORDT S. 102.
[5]) VIERORDT S. 105. 106.
[6]) VIERORDT S. 113 fgg.
[7]) VIERORDT S. 131. 140. 141.

25 und 60 und 0,32 Mm. über 60 Jahren betrug. Die Ausdehnung glich im Erwachsenen ungefähr $^1/_{13}$ für den Durchmesser und $^1/_7$ für den Querschnitt. Die Aenderungen, welche die Belastung der Schlagader und die Reibungen erzeugen, sind natürlich in diesen Werthen inbegriffen. Die Pulsgrösse des Mannes verhält sich im Durchschnitt zu der der Frau wie 8,2:6,8 zwischen 14 und 25 und wie 10,9:7,9 zwischen 25 und 60 Jahren. Der absolute Durchmesser der Speichenschlagader von VIERORDT[1]) schwankte zwischen 2,8 bis 3,1 Mm. Lange Menschen haben im Allgemeinen eine ausgedehntere und Fieberkranke während des Fiebers oder Thiere, die mit Chloroform betäubt worden, eine kürzere Pulsgrösse. Die von Herzkranken überschreitet in Einzelfällen den Normalwerth um mehr als das Doppelte. Die kürzesten und die längsten Ordinaten Gesunder schwanken zwischen 1 und 1,88. Da die Pulswelle 40 Grm. um 0,23 Mm. im Durchschnitt hebt[2]), so hat man eine unter den gegebenen Nebenbedingungen gelieferte Nutzwirkung von 0,92 Grammen-Centimeter. Der häufigere Puls steigt im Allgemeinen nach VIERORDT[3]) träger an und fällt schneller ab als der langsamere (§. 509).

§. 512. Einzelne der von der praktischen Heilkunde unterschiedenen Pulsarten können aus den mannigfachsten Bedingungen hervorgehen. Der häufige oder der seltene Puls entsteht möglicher Weise durch eine regelwidrige Dauer der Erweiterung, eine solche der Verengerung oder beide Ursachen zugleich. Die sphygmographischen Curven von MAREY[4]) lehren z. B., dass man den zweiten Fall in ausgezeichnetstem Grade während der Uebelkeiten und in der Seekrankheit hat. Eine zu kurze Zeit der ersten und eine zu lange der zweiten Veränderung oder umgekehrt ist im Stande, die regelmässige Pulszahl herzustellen. DE HAEN gab 10 bis 15 Schläge in der Minute als das vorkommende Minimum an. LIEUTAUD[5]) fand in einem Falle 20. Man bemerkt nicht selten, dass die Häufigkeit des Pulses mit den dem Blutlaufe der Schlagadern entgegenstehenden Widerständen abnimmt. Nicht dieser Umstand, sondern die nervösen Einflüsse entscheiden in anderen Fällen. Der harte

1) VIERORDT S. 164.
2) VIERORDT S. 167.
3) VIERORDT S. 178 fgg.
4) MAREY, Physiologie de la circulation. p. 386.
5) HALLER, De c. h. f. Tom. IV. p. 166.

und der weiche, der grosse und der kleine Puls können von einer krankhaften Füllung oder einem ungewöhnlichen Widerstande der Schlagaderwände, der schwingende (Pulsus vibrans s. vibrutus) von einer regelwidrigen Herzthätigkeit (§. 428) oder örtlichen Entartungen der Schlagadern, der aussetzende von einem wahren Mangel der Kammerzusammenziehung oder z. B. von einem Gerinnsel herrühren, dessen Lagenänderung nur den Durchgang des Blutes in einem Hauptstamme von Zeit zu Zeit erschwert.

§. 513. Wir haben schon §. 509 gesehen, dass oft der durch die Sphygmographen angezeigte doppelschlägige Puls (Pulsus dicrotus s. resiliens) zu den Kunstproducten gehört. Curven der Art können jedoch auch durch eine krankhafte Herzthätigkeit (die schwankende Hin- und Herbewegung der Blutsäule oder die Interferenz mehrerer Wellenzüge erzeugt werden. MAREY [1]), BUISSON [2]), DUCHEK [3]), COUSIN [4]), BAMBERGER und GEIGEL (§. 433) untersuchten die Pulscurven in den verschiedensten Krankheiten. Die Folgen der Nachschwingungen wurden hierbei gar nicht oder nur theilweise berücksichtigt. Die verschiedensten Leiden können übrigens ähnliche Pulscurven wie im Gesunden darbieten. Diese werden aber, wenn man sich vor allen Fehlerquellen gesichert hat, mit Zuverlässigkeit anzeigen, aus welcher der oben erwähnten Ursachen ein häufiger oder ein langsamer Puls hervorgeht, ob die Ausgleichung eine regelrechte Zahl der Schläge herbeiführt, wenn die Hebung zu lange und die Senkung zu kurz dauert oder umgekehrt, ob ein wahrer oder nur ein scheinbar aussetzender oder doppelschlägiger Puls vorhanden ist, wie sich die Schnelligkeitsverhältnisse der einzelnen Unterabtheilungen des Pulsschlages verhalten und ob ununterbrochene Hebungen und Senkungen vorkommen oder nicht. Untersuchungen der Art, die man mit zuverlässigen Vorrichtungen anstellt, werden auch eine schärfere und naturgemässere Bezeichnung der verschiedenen Pulsarten möglich machen. Man wird auf diese Art Täuschungen vermeiden können, wie sie z. B. ZIMMERMANN [5]) vorkamen, wenn er wahrgenommen zu haben glaubte, dass der schwache Puls der

[1]) MAREY, Physiologie de la circulation. p. 387—547.

[2]) BUISSON, Gazette médicale de Paris. 1861. p. 223.

[3]) DUCHEK, Untersuchungen über den Arterienpuls. Oesterreichische medicinische Jahrb. 1862. S. 50—72.

[4]) A. COUSIN, Essai sur le sphygmographe et ses applications cliniques. Strasbourg 1864. 4. p. 21—37. Fig. 7—78.

[5]) A. ZIMMERMANN, Von der Erfahrung. Zürich 1787. 8. S. 205.

rechten Speichenschlagader 55 und der starke der linken 90 bis 92 Pulsschläge in der Minute machte.

§. 514. Wir haben §. 201 gesehen, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen in einem elastischen Rohre von dem Elasticitätsmodul und der Dichtigkeit der Wand abhängt. Da diese Werthe mit den verschiedenen Schlagadern wechseln und sich auch wahrscheinlich ändern, je nachdem die Verkürzungsgebilde der Wände zusammengezogen oder erschlafft sind, so muss sich die Pulswelle mit ungleicher Geschwindigkeit in den einzelnen Arterien fortbewegen und die Schnelligkeit für eine und dieselbe Pulsader mit dem augenblicklichen Zustande derselben wechseln. Die §. 200 fgg. angegebenen Normen liefern die Grundlage der Beurtheilung für diesen Fall und für die krankhaften Abweichungen. Die regelwidrigen Aenderungen der Dichtigkeit führen auch zu neuen Werthen des Elasticitätsmoduls. Sie beeinträchtigen daher oft die Vollkommenheit der Federkraft. Die Welle wird desshalb meistentheils die kranke Schlagader langsamer als die gesunde durchsetzen (§. 201).

§. 515. Buisson[1]) nahm ein elastisches, mit Luft gefülltes Rohr, das einen mit einer Haut überspannten Trichter an jedem Ende führte, für je eine der zwei Pulsstellen, deren Schlag er wechselseitig vergleichen wollte. Das Klopfen pflanzte sich durch die Zwischenluft fort und lieferte Hebungen und Senkungen, die ein Schreibhebel aufzeichnete (§. 452). Dieses Verfahren, bei dem die mit der Erwärmung wechselnde Elasticität der Luft und die Ungleichheit der Spannungen der thätigen Häute merkliche Irrungen erzeugen können, gab 0,13 Secunde Zeitunterschied zwischen der Carotis und der hinteren Schienbeinschlagader und ungefähr 0,06 Secunde zwischen jener und der Speichenarterie des Menschen[2]). Czermak[3]) liess die Zeit von einem Inductionsapparate und einer Secundenuhr in der Form, wie es auf den Chronographen der Sternwarten geschieht, und die Pulscurven von zwei Marey'schen Sphygmographen gleichzeitig aufzeichnen. Je 17 bis 21 Beobachtungen ergaben ihm 0,065 bis 0,125 Secunden zwischen dem Herzstosse und dem Pulse

---

[1]) Buisson, Gazette méd. de Paris. 1861. p. 225.

[2]) Hierher gehörende cardiographische und sphygmographische Curven aus dem Pferde gibt Marey, Physiologie de la circulation. p. 187—199. Fig. 33 bis 36 u. Fig. 38 und 39. Die möglichen Fehlerquellen sind dabei dieselben wie die §. 351 erwähnten.

[3]) Czermak a. a. O. S. 36—45. Ueber die Pulsverspätung im Frosche siehe Czermak, Sitzungsber. d. Wiener Akad. Bd. LI. 1865. S. 1—4 Extraabzug.

der Halsschlagader[1]), 0,130 bis 0,184 zwischen jenem und dem Klopfen der Speichenarterie und 0,167 bis 0,224 Secunden zwischen ihm und der Ausdehnung der Rückenpulsader des Fusses. Die Pulsverspätung der Speiehenschlagader gegenüber der Carotis glich 0,051 bis 0,139 Sec. und die der Rückenschlagader des Fusses in Vergleich zu dieser 0,097 bis 0,178 Sec. Die Zahl der Pulsschläge betrug in allen Fällen 80 bis 95 in der Minute. Nimmt man die Mittel, so hat man für die Verspätungsintervalle zwischen Herzstoss und Carotis 0,087, jenem und der Speichenschlagader 0,159 und ihm und der Rückenpulsader des Fusses 0,193 Secunden[2]). Die Carotis und die Speichenschlagader lieferten 0,094 und jene und die Rückenpulsader des Fusses 0,117 Secunden. Die Verschiedenheit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit gestattet es nicht, einen sicheren allgemeinen Werth aus diesen Zahlen, welche die unvermeidlichen Beobachtungsfehler des Sphygmographen (§. 509) einschliessen, herzuleiten. Sehen wir aber von diesem Umstande ab, um einen ungefähren Begriff zu erhalten, so finde ich, dass der Weg von der arteriösen Mündung der linken Kammer bis zur Mitte der Halsschlagader nahezu 22 und der von jener bis zur Pulsstelle der Speichenpulsader ungefähr 65 Centimeter für meinen Körper beträgt. Forderte dieser Wegunterschied von 43 Centimeter eine Zwischenzeit von 0,094 Sec., so glich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit 4,6 Meter für die Secunde, also bedeutend weniger als sie §. 202 bestimmt worden. CZERMAK[3]) bemerkte noch, dass ihr Werth in Kindern von 7 bis 10 Jahren kleiner als in Erwachsenen ausfällt. Er schliesst ferner, dass ihre Grösse von dem Herzen nach der Peripherie wahrscheinlich abnimmt und die höchste Erhebung der Brustwand durch den Herzstoss der stärksten Erweiterung des Anfanges der Aorta um einen merklichen Zeitraum vorangeht (§. 328).

---

[1]) Ich erhielt weniger als $1/8$ Secunde Zeitunterschied, als ich das Klopfen in der Gegend des Aortenanfanges und den Puls der Carotis bei GROUX (§. 328) nach dem §. 508 erläuterten Verfahren aufzeichnen liess. Siehe Grundriss. S. 166.

[2]) CZERMAK fand auch, dass man die Pulsverspätung in dem Frosche durch den unmittelbaren Anblick erkennt, wenn man das Klopfen einer kleinen Gekrösschlagader durch das Mikroskop mit dem einen Auge und den Herzschlag unmittelbarmit dem anderen beobachtet. Sitzungsber. d. Wien. Akad. Bd. LI. 1865. S. 1—4.

[3]) CZERMAK a. a. O. S. 58—64.

4. Vertheilung des Schlagaderblutes.

§. 516. Die Lage der einzelnen Theile bedingt es nicht selten, dass sich die Schlagaderstämme krümmen. Der Aortenbogen z. B. geht auf diese Weise aus der Nothwendigkeit hervor, die oberen und die unteren Körpertheile mit Blut zu versorgen. Man findet aber auch, dass andere Beziehungen den Biegungen zum Grunde liegen. Dehnen sich Theile zu einzelnen Zeiten in hohem Grade aus, so verlaufen auch ihre grösseren oder kleineren Zweige in Schlangenwindungen, die sich strecken und das Blut in minder gekrümmter Bahn durchlassen, wenn die Dehnung in der Richtung ihrer Längsachse erfolgt [1]). Wir haben z. B. solche wechselnde Schlängelungen in den grösseren Schlagadern der Gebärmutter, in den dünneren im Innern der Fachgewebe der Ruthe und des Kitzlers. Viele Arterienstämme, die bei Bewegungen gezerrt werden, wie die äussere Kieferschlagader, die Zungenschlagader gehen in Wellenbiegungen dahin. Diese kommen jedoch auch ohne eine solche Nebenbedingung vor. Arterien, die im Erwachsenen gerade verlaufen, schlängeln sich nicht selten in jüngerer Embryonalzeit. Die Windung der Hirnschlagader bei ihrem Durchgange durch den Carotidencanal schwächt die Kraft der Pulsstösse des zu dem Gehirn strömenden Blutes. Die §. 464 angegebenen Zahlen deuten an, dass der Blutdruck nur um eine mässige Grösse in Folge dieser Widerstände sinkt.

§. 517. Wir haben §. 189 gesehen, dass eine kreisförmige Biegung, deren Krümmungshalbmesser mehr als zehn Mal so lang wie der Durchmesser der Röhrenleitung ist, keinen merklichen Druckverlust nach den Erfahrungen der Hydrauliker herbeiführt. Da viele Schlagadern dieser Verbesserungsbedingung nicht genügen [2]), so

---

[1]) Ueber die Schlängelungen und Knäuelungen, die aus diesem Grunde in der Zunge der Frösche vorkommen, siehe Hyrtl, Sitzungsber. d. Wien. Akad. Bd. XLVIII. 1863. S. 437—440.

[2]) Die Krümmungen der Schlagadern sind nicht genau kreisförmig. Der Ausdruck Krümmungshalbmesser kann sich daher nur auf den Halbmesser des Berührungskreises beziehen, den man durch eine Differentialformel finden könnte, wenn die Ordinate und die Abscisse des gegebenen Punktes und die Curvengleichung bekannt wären. Es ist nicht möglich, diese letztere mit Sicherheit aufzustellen. Man muss sich daher mit der annähernden Annahme einer concentrisch kreisförmigen Krümmung begnügen. Da jeder Halbmesser auf der Tangente senkrecht steht, so bestimmt man dann praktisch den

büsst in ihnen das Blut eine gewisse Druck- und Geschwindigkeitsgrösse ein. Die Abnahme fällt für die Zeit der Füllung und der Streckung der Schlagader geringer aus, wenn sich dann der Krümmungshalbmesser vergrössert. Manche Biegungen zeigen die Eigenthümlichkeit, dass ihre gewölbte Seite stärker ausgebuchtet ist, als die ausgehöhlte. Es wurde schon §. 189 angegeben, dass dieses den Druckverlust herabsetzt. Ist der Anprall des Blutes gegen die convexe Seite gerichtet, wie man dieses an dem Aortenbogen am Deutlichsten sieht, so dehnen sich auch solche Stellen leichter als andere, unter sonst gleichen Krankheitsbedingungen regelwidrig aus.

§. 518. Wenn sich grössere oder kleinere Schlagaderzweige eines Amputationsstumpfes schlängeln, so rührt dieses davon her, dass sich die Gefässe in ähnlicher Weise wie andere durchschnittene Theile, z. B. die Nerven oder einzelne Muskeln, elastisch zurückgezogen und nicht mehr ihre frühere Spannung und Dehnung wiedergewonnen haben. Der Seitenkreislauf (§. 476) erzeugt oft umgekehrt Schlängelungen, wo sie unter regelrechten Verhältnissen fehlen. Dieses rührt davon her, dass der Blutdruck die sich weiter entwickelnden Seitengefässe mehr verlängert als verbreitert und die Anheftungen keine der Gefässachse parallele Längenzunahme des Verlaufes gestatten. Hat sich z. B. die Blutbewegung trotz des Verschlusses der Uebergangsstelle des Aortenbogens in die absteigende Aorta in dieser erhalten, so gehen die dicken Zwischenrippenschlagadern oder andere Stämme und Zweige des Seitenkreislaufes in zahlreichen Windungen dahin. Viele Schlagadern der Murmelthiere schlängeln sich am Ende des Winterschlafes in auffallendem Grade, weil die Abmagerung die Theile verkürzt.

§. 519. Der Widerstand, den der Ablenkungswinkel einer Röhrenverästelung erzeugt, hängt von seinem Sinus versus oder dem Unterschiede seines Cosinus und der Einheit ab (§. 190). Er fällt also für einen rechten Winkel am Grössten aus und verkleinert sich mit der Annäherung an 0^0 oder 180^0. Die Nierenschlagader, die unter 90^0 von der Aorta abgeht[1]), hat daher in dieser Hinsicht mehr

---

Krümmungshalbmesser, wenn man Tangenten an zwei einander nahe Punkte einer Krümmungsstelle legt und den Durchschnittspunkt der beiden auf ihnen senkrechten Linien, der dem Mittelpunkte des gesuchten Kreises entspricht, aufsucht. Wiederholt man dieses für eine Reihe folgender Punkte, so zeigt die Verrückung der Mittelpunkte an, in welchem Grade sich die Krümmung allmälig ändert.

[1]) Zuverlässiger als die Winkelbestimmung durch den Transporteur ist hier die trigonometrische, indem man ein rechtwinkliges Dreieck absticht, so dass die Achse des

zu leiden als die Halsschlagader mit ungefähr 80°, die linke Schlüsselbeinschlagader mit 100° und die Eingeweidepulsader mit nahezu 50°. Aendert die Stellung der Baucheingeweide die Neigung der grossen Schlagaderstämme (AA. coeliaca, mesaraicae superior und inferior) gegen die Bauchaorta, so wechseln auch demgemäss die Widerstände. Theilt sich die Bauchaorta in die beiden gemeinschaftlichen Hüftpulsadern unter einem Spaltungswinkel von 60° bis 70°, so geht die Achsenverlängerung der Aorta unter 30° bis 35° zwischen ihnen fort. Das Blut wird also unter keinem sehr grossen Winkel abgelenkt, prallt aber dafür an der Theilungsstelle zurück, so weit es nicht durch die mittlere Heiligbeinschlagader abfliesst. Es verliert an Druck und Geschwindigkeit durch die Wirkung der Zurückwerfungswelle.

§. 520. Da der von einer Verzweigung herrührende Widerstand mit dem Quadrate der Geschwindigkeit wächst (§. 190), so macht er sich im Allgemeinen in den dem Herzen näheren grösseren Schlagadern nachdrücklicher als in den entfernteren und für die Hauptstämme mehr als für die untergeordneten Aeste geltend. Er sinkt in den Schlagadern, durch die das Blut eines Hindernisses wegen langsamer strömt und steigt in denen, die desshalb von mehr Blut in der Zeiteinheit durchsetzt werden. Man sieht oft, dass die Pulshebung den spitzen Abgangswinkel einer Schlagader vergrössert. Der Abzweigungswiderstand nimmt dieses Umstandes und der gleichzeitigen Schnelligkeitserhöhung wegen zu. Es ereignet sich nicht selten, dass sich ein Schlagaderstamm kegelförmig verschmälert, ehe er Aeste abgibt. Das Blut langt daher zwar mit einer grösseren Geschwindigkeit an der Theilungsstelle an und erzeugt aus diesem Grunde ein stärkeres Verästelungshinderniss. Da aber dieses nicht den ganzen Ueberschuss an lebendiger Kraft (§. 127) aufzehrt, so tritt es noch mit bedeutender Geschwindigkeit in die Zweige und kann daher hier die Widerstände leichter überwinden (§. 158 fgg.).

§. 521. Die Anastomosen kommen in den Schlagadern weniger häufig als in den Blutadern vor. Wäre der Geschwindigkeitsdruck in den beiden Arterien, die ein Zwischenast vereinigt, vollkommen gleich, so würde das Blut in dem Verbindungszweige ruhen. Da aber dieses für irgend lange Zeiträume nie der Fall ist, so hat man

---

Seitenzweiges die Hypothenuse bildet. Nennt man diese b, die auf dem Stamme abgestochene Seite a und den gesuchten Winkel α, so hat man $\cos \alpha = \frac{a}{b}$.

immer eine Strömung, die von der Blutsäule stärkeren nach der schwächeren Druckes geht. Die §. 196 erläuterten Gesetze des Stosses einer Flüssigkeit gegen eine andere finden hier oft ihre Anwendung. Bieten die beiden durch die Anastomose vereinigten Schlagaderzweige nahezu die gleichen Druckbedingungen dar, so kann es sich ereignen, dass sich die Stromesrichtung in der Anastomose umkehrt, je nachdem die Nebenverhältnisse, z. B. zufällige Hindernisse in dem entsprechenden Haargefässbezirke den Druck in dem einen oder dem anderen Aste erhöhen. Man hat das Gleiche in dem §. 518 erwähnten Falle des Verschlusses des Anfanges der absteigenden Aorta, wenn die von der Schlüsselbeinschlagader entspringende erste Zwischenrippenschlagader Blut zu der dritten und den tieferen Zwischenrippenarterien und von da zur Brustaorta ableitet.

§. 522. Die grossen Bogenanastomosen, z. B. des Dünndarmgekröses des Menschen, die man als einen Rest der in einzelnen Säugethieren vorkommenden Wundernetze ansehen kann, bilden Abzugscanäle, die den Uebertritt des Blutes zu Nachbarzweigen gestatten, wenn die Füllung oder die Bewegung eines Dünndarmtheiles oder der Druck der angrenzenden Gebilde einen Abschnitt beengt. Diese Wirkungsart macht sich in den Schlagaderbogen der Hand und der Fusssohle seltener geltend. Die reichlichere Blutmenge aber, die von zwei Seiten eindringt, sichert hier den Blutlauf, wenn ein äusserer Druck oder andere Ursachen die eine Zufuhrbahn beengen. Die feineren Schlagaderverbindungen, wie sie die rücklaufenden Arterien der Gliedmaassen herstellen, erleichtern den Uebergang des Schlagaderblutes bei einzelnen Körperstellungen. Viele solcher Netzverbindungen bilden übrigens blosse Folgen der früheren Entwickelungszustände, die erhalten bleiben, weil auch später der Blutstrom die Röhren durchsetzt. Grössere Anastomosen bedingen es bisweilen, dass die Schlagader einen kleineren Querschnitt oberhalb als unterhalb derselben darbietet.

§. 523. Strömt eine grosse Menge Aortenblutes in die breite Nierenschlagader trotz der rechtwinkligen Abzweigung (§. 519) unter kräftigem Drucke ein, so treffen später die feineren Verzweigungen grosse Widerstände in den vielfach gewundenen Canälen der Malpighi'schen Gefässknäuel. Die Wände von diesen müssen daher einen starken Druck aushalten. Ihre Poren werden hierdurch erweitert und der Durchtritt reichlicher und dichter Flüssigkeitsmengen erleichtert. Das Blut fliesst unter geringerer Spannung in die

nachfolgenden Haargefässe der Nierenmasse, als wenn die Malpighi'schen Knäuel nicht vorhanden wären[1]). Gibt es Schlagaderäste, welche diese umgehen, so wird auch ihr Inhalt mit einem grösseren Drucke an der Grenze des Haargefässsystemes anlangen. Da das abführende Gefäss eines jeden Malpighi'schen Knäuels schmaler als das zuführende ist, so findet das Blut einen grösseren Widerstand, wenn es von jenseits rückwärts, als wenn es in der naturgemässen Richtung strömen will. Diese bietet so geringe Hindernisse dar, dass noch bedeutende Blutmengen durchgehen, wenn selbst das Flussbett der Nierenvene auf mehr als ein Dritttheil verengt worden[2]).

§. 524. Die der kurzen und breiten Nierenschlagader benachbarte innere Samen- oder Eierstockspulsader zeichnet sich durch ihre Länge und Schmalheit aus. Dieses bildet die Folge des embryonalen Herabsteigens des Hodens und des Eierstockes. Das gegenseitige Zusammentreffen der Schnelligkeitsbeschleunigung durch den geringeren Querschnitt und der Erhöhung des Gleitungswiderstandes wegen der Schmalheit und der Länge des Rohres erreicht hier eine für einen unverzweigten Schlagaderstamm ausgezeichnete Grösse. Der kleine Querschnitt, der in einer sehr langen Strecke beibehalten wird und die späteren Schlängelungen setzen die Geschwindigkeit merklich herab.

§. 525. Die Wanddicke gesunder Schlagadern muss mindestens dem Producte der auf der Flächeneinheit lastenden Drucksäule des Blutes und des Halbmessers des Rohres getheilt durch den Festigkeitsmodul der Wandmasse gleichen (§. 36). Wie aber ein stärkerer Druck eine dickere Oberhaut erzeugt, so sieht man auch besonders an der aufsteigenden Aorta und dem Aortenbogen der grösseren Säugethiere, z. B. des Pferdes, dass die Bezirke des kräftigeren Anpralles des Blutes die dickeren sind. Diese Norm wiederholt sich nicht für die krankhaften Wandveränderungen der Pulsadergeschwülste. Die Bevorzugung der rechten Körperhälfte verräth sich auch im Allgemeinen durch Schlagadern grösseren Querschnittes[3]).

---

[1]) Vgl. auch C. Ludwig, Die physiologischen Leistungen des Blutdruckes. Leipzig 1865. 8. S. 17. 18.

[2]) C. Ludwig, Wiener med. Wochenschr. 1864. S. 193—197. 209—213. 225—228 und Sitzungsber. d. Wien. Akad. Bd. XLVIII. 1863. S. 415.

[3]) Hierher gehörende Messungen finden sich in meinem Lehrbuche der Physiologie. Zweite Auflage. Bd. I. S. 163. Hyrtl bemerkt, dass die linke Schlüsselbeinschlagader von Menschen, die links sind, dem Herzen näher als sonst zu liegen pflegt.

III. Die Haargefässe.

1. Sichtbarer Blutlauf.

§. 526. Die grosse Menge und die Feinheit der zartesten Gefässe gewähren optische Vortheile, die den grösseren Schlag- und Blutadern nicht zukommen. Ist die künstliche Füllung derselben gelungen, so erscheint der Theil, in dem sie enthalten sind, in der Farbe der Einspritzungsmasse, weil wir die zahlreichen, auf diese Weise gefärbten Röhren und deren Zwischenräume mit freiem Auge nicht unterscheiden. Wir haben also hier dieselbe Täuschung wie bei der Blutfarbe (§. 221). Die feinhäutigen Bezirke unserer Lippen verdanken ihr rothes Aussehen dem gleichen Grunde. Er lässt auch die Wangen und andere Gebilde, deren Haargefässe durchschimmern können, je nach dem Grade der Blutfüllung blass oder geröthet erscheinen (§. 493). Die kleinen Querschnitte und die durchsichtigen Wandungen der Haargefässe machen es ferner möglich, dass man die einzelnen Bestandtheile der in ihnen strömenden Blutsäule sieht, wenn die Nachbarmassen dünn und durchsichtig genug sind, die mikroskopische Untersuchung in durchfallendem Lichte zu gestatten. Die ausgespannte Schwimmhaut des Frosches dient am Häufigsten zu solchen Beobachtungen. Die Zunge, die Lunge und die Harnblase der Frösche, das Gekröse dieser und anderer Reptilien und kleinerer Säugethiere, die Schwänze von Tritonen, Salamandern und Frosch- oder Tritonlarven, die Kiemen der letzteren, die jüngeren Embryonen der Vögel und vorzugsweise der Fische, die Flügel der Fledermäuse, die Zwischenhäute der Zehen einzelner neugeborener Säugethiere und der Schwanz kleinerer Fische lassen sich zu dem gleichen Zwecke benutzen. WALLER drängt den Augapfel von Albinos

junger Kaninchen oder Ratten zur Augenhöhle, so sehr es angeht, heraus und untersucht die Hornhaut, die harte Haut oder die Iris mikroskopisch bei starker Beleuchtung. Dieses Verfahren giebt minder vollkommene Anschauungen der Einzelnheiten. Beachtet man nicht die untergeordneten Verschiedenheiten, welche die mannigfachen Formen der Blutkörperchen bedingen, so zeigt der Blutlauf der Haargefässe im Wesentlichen dieselben Erscheinungen in allen genannten Theilen.

§. 527. Man bemerkt zunächst eine mechanische Scheidung des Blutes, so wie die Durchmesser der Haargefässe eine gewisse Kleinheit erreichen. Die Anhäufung der Blutkörperchen und daher auch der rothe Blutstrom verläuft vorzugsweise in der Mitte, während die Seitentheile von der sogenannten unbeweglichen oder, richtiger gesagt, wenig beweglichen Lage oder der Wandschicht eingenommen werden[1]. Sie enthält grösstentheils nur Blutflüssigkeit und erscheint daher unter stärkeren Vergrösserungen farblos. Wir haben schon §. 179 fgg. kennen gelernt, dass sie eine blosse Folge der grösseren Gleitungswiderstände feiner Röhren bildet und es sich hier um eine Strömung handelt, deren Langsamkeit von dem Umkreise des Gefässes nach der Mitte hin abnimmt (§. 175). Lässt man eine Flüssigkeit, in der feine Theilchen schweben, durch eine dünne Glasröhre, die man unter dem Mikroskope beobachtet, strömen, oder untersucht man den Capillarblutlauf durchsichtiger Gewebe, so findet man in beiden Fällen, dass Körperchen, die sich in die Wandschicht verirren, in der Nähe der Wandung langsamer dahingehen als in einiger Entfernung von ihr. Sie bleiben sogar oft eine Zeit lang vollkommen ruhig liegen.

§. 528. Eine grössere Zähigkeit der Flüssigkeit verbunden mit einer kräftigen Wandanziehung derselben begünstigt das Auftreten einer merklichen Wandschicht überhaupt. Die Wandungswirkung allein kann einen unendlich grossen Gleitungswiderstand erzeugen und eine jedoch nur unendlich dünne Schicht auf diese Weise unbeweglich festhalten (§. 175). Das Uebrige dagegen hängt von der Zähigkeit oder dem Widerstande ab, der sich der gegenseitigen Trennung der Flüssigkeitstheilchen von einander entgegensetzt. Je grösser dieser ist, um so weniger rasch wird die zweite Flüssigkeits-

[1]) Die langsamere Strömung an den Wänden selbst der kleineren Venen war schon Malpighi bekannt. Siehe Alb. v. Haller, Opera minora. Tom. I. Lausannae 1763. 4. p. 207.

schieht an der ersten beweglichen dahingleiten, weil ein um so grösserer Theil des Geschwindigkeitsdruckes durch den Gleitungswiderstand aufgezehrt wird. Erzeugen aber die Unebenheiten der Wand ein Reibungshinderniss, so wiederholen sich die Unebenheiten an der gegen die übrige Flüssigkeit gekehrten Oberfläche der unendlich dünnen unbeweglichen Wandschicht. Wächst auch vielleicht nicht gerade der Reibungswiderstand mit dem Quadrate der Geschwindigkeit, wie man angenommen hat (§. 173), so hängt er doch jedenfalls von ihr wesentlich ab. Nicht die Wandanziehung, sondern die gegenseitige Anziehung der Flüssigkeitstheilchen und der Reibungswiderstand bewirken es, dass die zweite Flüssigkeitsschieht rascher als die erste, die dritte schneller als die zweite dahingleitet, dass mit einem Worte die Geschwindigkeit von der Wand nach dem Innern des Rohres hin zunimmt. Da sich wahrscheinlich die Innenfläche der Haargefässe eben so wie die der Schlagadern durch ihre Glätte auszeichnet[1]) (§. 464), so tritt noch keine Wandschicht von merklicher Dicke in den Capillaren des lebenden Körpers auf, wenn sie in Glasröhren von denselben Durchmessern und unter sonst gleichen Nebenbedingungen gefunden wird. Man vermisst sie desshalb oft noch in vielen mikroskopischen Haargefässen. Sie erzeugt sich leichter bei grossen Geschwindigkeiten und mangelt, wenn sich der Blutlauf beträchtlich verlangsamt.

§. 529. Untersucht man diesen im Frosche, so sieht man in allen irgend langen Haargefässen, dass der grösste Theil der Blutkörperchen in dem Mittelstrome dahinfliesst. Der längste Durchmesser der dreiachsigen Blutkörperchen (§. 222) geht dabei der Länge des Gefässrohres mehr oder minder parallel. Die §. 194 fgg. erläuterten Normen des hydraulischen Stosses erklären diese Erscheinung. Denkt man sich die Längenachse des Blutkörperchens der Queraehse des Stromes entsprechend aufgestellt, so dass die gewölbte Fläche und nicht der Rand von der Blutflüssigkeit senkrecht getroffen wird, so ist der Widerstand der grösseren, der Strömung entgegengesetzten Oberfläche wegen bedeutender, als wenn die Blutflüssigkeit nur gegen die kleinere Randseite stösst. Da aber der Geschwindigkeitsdruck der Blutflüssigkeit jedenfalls grösser aus-

---

[1]) Die neueren von Auerbach, Eberth und Aeby angestellten Untersuchungen lehren, dass die Einspritzung einer Lösung von Höllenstein dieselben Epithelialformen in den Haargefässen wie in den grösseren Blutgefässstämmen sichtbar macht. Siehe die Abbildungen von Eberth in der Würzburger naturw. Zeitschr. Bd. VI. 1865. Taf. III. IV.

fällt als jener Widerstand, weil das Blutkörperchen mit dem Strome fortgerissen wird (§. 195), so wendet er auch dasselbe nach der Stellung des verhältnissmässig geringeren Hindernisses, so wie der schiefe Verlauf der Bahn oder eine andere Ursache einen ungleichen Geschwindigkeitsdruck für die Flüssigkeitsfäden der einen und die der anderen Seite erzeugt. Man sieht desshalb nicht selten, dass die Blutkörperchen zuerst eine Strecke weit mit ihrer Längsachse schief dahingehen, so wie sie z. B. aus einem Seitenzweige eingetreten sind, und sich erst allmälig der Längsachse des Gefässes parallel stellen. Mögen sie aber welche Form sie wollen besitzen, so werden sie immer zuletzt eine Fläche ihres geringsten Widerstandes der stärksten Strömung entgegenwenden. Die Frage, ob sie Körper kleinster Resistenz bilden, wurde schon §. 223 erörtert.

§. 530. Da die einachsigen farblosen Blutkörperchen (§. 222) Kugeln bilden, wenn man von den Unebenheiten ihrer Oberfläche absieht, so bieten sie die gleiche Widerstandsfläche in allen Lagen dar, wie wir schon §. 223 ausführlicher gesehen haben. Einzelne von ihnen werden häufig aus dem rothen Centralstrome herausgeworfen, gelangen auf diese Weise in die farblose Wandschicht, rollen hier langsamer längs oder in der Nähe der Wandung dahin, bleiben dann oft eine Zeit lang haften und werden endlich wiederum bei günstiger Gelegenheit in den allgemeinen Strom fortgerissen. (Vgl. §. 533.) Die rothen Blutkörperchen bieten diese Erscheinung seltener dar. Hing eines von ihnen an der Wand an, so sieht man bisweilen, wie es sich, mit seiner Längsachse quer oder schief gestellt, hin und her bewegt und endlich in die allgemeine Strömung von Neuem eintritt, sobald sich der Geschwindigkeitsdruck der der Wand näheren Flüssigkeitsfäden aus irgend einem Grunde vergrössert.

§. 531. Da die gewöhnlichen Netzbahnen der Haargefässe von zahlreichen Anastomosen erzeugt werden, so lassen sich die §. 187 fgg. gegebenen Erläuterungen und die §. 196 dargestellten Normen des wechselseitigen Stosses zweier Flüssigkeitssäulen auch auf ihren Inhalt anwenden. Man sieht daher bisweilen, dass einzelne Blutkörperchen an dem Orte des Zusammentreffens zweier Ströme einen Augenblick wie unschlüssig stehen bleiben und endlich von der stärkeren Strömung fortgerissen werden. Die Beobachtung des Capillarblutlaufes, z. B. der Schwimmhaut des Frosches, lehrt, dass häufig die Geschwindigkeiten in den einzelnen Röhren in kurzer Zeit wechseln, manche Blutsäulen einen Augenblick stocken und andere

entgegengesetzte Stromesrichtungen nach kurzen Zeiträumen darbieten[1]) (§. 521). Einzelne Haargefässe sind so dünn, dass sie fast nur die farblose Blutflüssigkeit durchlassen und gewissermaassen Filtra für das Blut bilden. Man hatte aber kein Recht, sie desshalb als seröse Gefässe von den übrigen zu trennen, weil oft genug Blutkörperchen durch sie durchgedrückt werden, so wie der sie beherrschende Nachbarstrom einen grösseren Geschwindigkeitsdruck erreicht. Ein Blutkörperchen verharrt dann gleichsam schwankend vor dem engeren Eingange eine Zeit lang. Wird es endlich in das dünne Gefäss eingezwängt, so verschmälert und verlängert es sich vermöge seiner Elasticität und springt in seine frühere Form zurück, so wie es die Zwangsbahn von Neuem verlassen hat. Man sieht fast nur rothe Blutkörperchen durch diese sehr engen Gefässe dringen, weil ihr an den beiden Enden verschmälerter Durchmesser den Eintritt mehr erleichtert als die kugelrunde, meist einem breiteren Durchmesser entsprechende Gestalt der farblosen Körperchen. Der geringere Widerstand der Blutflüssigkeit bedingt es, dass verhältnissmässig lange Säulen derselben die Blutkörperchen, die das feine Haargefäss gleichzeitig durchsetzen, wechselseitig trennen.

§. 532. Die Spannung und die Geschwindigkeit des Blutes müssen in den Haargefässen beträchtlicher als in den kleineren Schlagadern abnehmen, weil die Reibungsflächen und die Summe der Querschnitte oder das gesammte Querprofil des Flussbettes ausserordentlich wachsen. Ein geringer Druck reicht daher schon hin, den Capillarblutlauf zu hindern. Spannt man die Schwimmhaut des Frosches zu stark aus, so ruhen alle Blutsäulen in den Haargefässen und bei etwas stärkerem Drucke auch in den zuführenden Schlag- und den ableitenden Blutadern. Ein einfaches zu einem Collegienversuche geeignetes Verfahren kann einen ungefähren Begriff von den nöthigen Druckgrössen liefern. Hat man einen durchsichtigen Theil auf einer Glasplatte, die sich auf dem Objecttische des Mikroskopes befindet, ausgebreitet, so legt man auf ihn ein kleines und dünnes Glas, dessen Gewicht man kennt. Ist Alles so eingerichtet, dass man den Blutlauf mit Linsen mit grosser Brennweite beobachten kann, so beschwert man das Deckgläschen mit immer zunehmenden Gewichten, deren Rand man in dem Gesichtsfelde des Mikroskopes sieht, bis die Blutbewegung in den Haargefässen ver-

---

[1]) Diese Erscheinung war schon Malpighi bekannt. Siehe dessen Opera posthuma. Amstelodami 1698. 4. p. 122.

langsamt wird oder still steht. Es versteht sich von selbst, dass hierbei nicht bloss der Druck des Blutes, sondern auch der Widerstand der Zwischengewebe einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebniss ausübt. Einige Beispiele können das Nähere erläutern.

Das Deckgläschen, dessen ich mich bediente, wog 0,48 Grm. Hatte ich es auf den Schwanz einer Kaulquappe gelegt, deren Hinterfüsse hervorgesprossen waren, die aber noch keine Vorderbeine besass, so reichte eine Beschwerung von 1 Grm. zu einer merklichen Verlangsamung und eine solche von 2 Grm. zum Stillstande des Blutlaufes hin. Dieser kehrte aber nach der Entfernung der Belastung sogleich wieder. Ein stärkerer Druck hob ihn für längere Zeit auf und heftige Stösse erzeugten zahlreiche Blutergüsse. Ein grosser Frosch (Rana esculenta) gab einen mittleren Durchmesser von $^1/_{50}$ Mm. für die Haargefässe der Schwimmhaut zwischen der zweiten und der dritten Zehe. Betrug dann die Länge der drückenden Glasplatte 6 und die Breite 4 bis 5 Millimeter, so führte eine Beschwerung von 7 Grm. zu augenblicklichem Stillstande, eine solche von 6 Grm. zu pulsatorischen Bewegungen und eine von 5 Grm. zu Verlangsamung oder selbst in Einzelfällen zu Stillstand, wenn die Versuche oft wiederholt worden. Hatten aber auch 10 Grm. im Anfange gedrückt, so kehrte doch der Blutlauf nach der Entfernung der Belastung augenblicklich wieder. Stärkere Beschwerungen bedingen auch hier länger anhaltende Stockungen. Der Schutz, den der Widerstand einzelner Theile den übrigen gewähren kann, zeigte sich am Deutlichsten an dem Schwanze eines mittelgrossen Wassermolches (Triton Wurfbeinii). Hatte ich selbst 100 Grm. auf das 0,48 Grm. schwere Gläschen gesetzt, so kehrte doch der Blutlauf in wenigen Secunden nach dem Fortnehmen wieder, weil die Hauptbelastung den dickeren, die Wirbelsäule einschliessenden Abschnitt traf.

Eine einfache Hebelvorrichtung könnte in ähnlicher Weise von dem Arzte benutzt werden, um zu sehen, unter welchem Drucke die Röthe einer krankhaft veränderten Hautstelle beseitigt oder eine Vertiefung erzeugt wird.

§. 533. Wir haben §. 179 gesehen, dass grössere Flüssigkeitsmengen durch dasselbe Haarrohr in höherer als in niederer Wärme treten. Ein Hauptgrund der Schnelligkeitsvergrösserung liegt darin, dass die Zähigkeit mit der Erwärmung abzunehmen pflegt, so lange diese gewisse Grenzen nicht überschreitet (§. 177). Die Berührung mit Eis oder die Befeuchtung mit warmem Wasser zeigt, dass sich

das Gleiche für den Blutlauf der Haargefässe der kalt- und der warmblütigen Geschöpfe wiederholt. Befinden wir uns in der Kälte, so greifen zwei verschiedene Einflüsse gleichzeitig ein. Die niedere Wärme verengert die kleinen Schlagadern, so dass hier mehr oder weniger Blut als sonst, je nach der Grösse der Reibungswiderstände durchgeht (§. 59). Sie verzögert zugleich den Strom der Haargefässe (§. 179). Liegen diese in Theilen, deren Blut durch die Haut schimmert, so röthen sie sich stärker und werden zuletzt blau. Eine grössere Menge von Blutkörperchen häuft sich in ihnen an, weil diese der Fortbewegung nachdrücklicher als die Blutflüssigkeit widerstehen und die Wechselwirkung derselben mit den Nachbargeweben ihren Farbestoff allmälig dunkelroth macht. Die Kälte vergrössert zwar die Zähigkeit und daher auch die Geneigtheit, eine breite Wandschicht zu bilden (§. 180 fgg.). Die Langsamkeit der Bewegung wirkt aber hier mehr als ausgleichend, so dass die zuletzt stockenden Blutkörperchen den ganzen Innenraum des Haargefässes möglichst ausfüllen.

§. 534. Der elektrolytische Einfluss der galvanischen und der Inductionsströme zersetzt das Blut und scheidet Eiweisskörper an dem positiven Pole aus (§. 284), durch welche die Blutkörperchen leicht zusammenkleben. Der Blutlauf der Haargefässe wird auf diese Art erschwert. Man kann diesen zur Ruhe bringen, wenn man die Schläge eines kräftigen Magnetelektromotors einige Zeit durchleitet (§. 284).

§. 535. Alle chemischen Einwirkungen, welche die Zähigkeit der Blutflüssigkeit erhöhen, das Zusammenkleben der Blutkörperchen begünstigen oder das Blut zur Gerinnung bringen, verlangsamen den Capillarkreislauf und heben ihn zuletzt gänzlich auf. Werden Verbindungen, welche eine dieser Wirkungen ausüben, äusserlich angewendet, so dass sie erst auf dem Wege der Diffusion vordringen, so greifen sie um so rascher und nachdrücklicher ein, je grösser der Dichtigkeitsunterschied des Blutes und der gebrauchten Lösung ist (§. 105). Dieser Satz wurde auch durch Beobachtungen an der Schwimmhaut des Frosches von Schuler, Virchow und Gunning bestätigt. Er ergibt als unmittelbare Folge, dass eine Blutverdünnung, wie man sie durch Aderlässe oder die Einspritzung von Wasser hervorbringt, das Eindringen dichterer Lösungen und eine natürliche oder künstliche Blutverdichtung durch Erhöhung des Eiweiss- oder Salzgehaltes die Aufnahme einer dünneren begünstigt. Es kommt dabei häufig vor, dass die Blutsäule in einem Gefässe oder

Gefässbezirke in Folge der störenden Diffusionswirkung rückwärts geht. Man kann sich von allen diesen Erscheinungen am Einfachsten überzeugen, wenn man einen Krystall von Kochsalz auf der Schwimmhaut des Frosches abschmelzen lässt. H. Weber, Schuler und Virchow geben noch an, dass es Körper gibt, die nur bei aufgehobenem Kreislaufe eine nach der Wiederherstellung desselben anhaltende Stockung herbeiführen. Hierher gehören z.B. das schwefelsaure Kali, das essigsaure Zink und das weinsaure Natron-Kali (Scignettesalz). Man hat dabei zwei Möglichkeiten. Der Körper muss auf ein und dasselbe Bluttheilchen längere Zeit wirken oder er ändert erst dann die Blutmasse, wenn sich diese schon in Folge der Stockung umzusetzen begonnen hat. Die erste Bedingung liegt wahrscheinlich den meisten hierher gehörenden Fällen vorzugsweise zum Grunde. Die Einwirkung fremdartiger chemischer Verbindungen pflegt auch andere Zähigkeitsgrade der Blutflüssigkeit und daher verschiedene Dicken der Wandschichten herbeizuführen (§. 177 fgg.).

§. 536. Man stellte sich vor, dass sich der Blutlauf zuerst beschleunigt (active Congestion), dann verlangsamt (passive Congestion) und endlich stockt (Stase), wenn sich die Entzündung ausbildet. Die Haargefässe sollten sich in der ersten Zeit erweitern und später verengen. Die Beobachtungen von E. H. und Ed. Weber, Bidder und mir lehrten, dass eine Reihe unrichtiger Voraussetzungen diesem Gedankengange zu Grunde lag. Lässt man die Schläge des Magnetelektromotors durch das Gekröse des Frosches gehen, so verengen sich die kleinen Schlagadern bedeutend (§. 494), die schmalen Blutadern wenig und die Haargefässe gar nicht. Behandelt man den Gefässbezirk mit verdünnter Essigsäure, so zeigen auch die kleinen Schlagadern die dicht gedrängten scheinbaren Querfasern der Mittelhaut, während diese Bildung den Haargefässen mangelt. Führt man die Ströme durch die Capillaren allein, so erhält man nur die Veränderungen, welche die Blutgerinnung nach sich zieht (§. 284), also Spannungserhöhung und deren Folgen vor und Druckabnahme hinter dem unwegsamen Bezirke (§. 476). Eine von der Verengerung der Haargefässe herrührende Beschleunigung des Blutlaufes ist nicht vorhanden. Was die früheren Mikroskopiker in dieser Hinsicht irre geführt hat, war die Verbreiterung der Wandschicht in Folge der aus irgend einem Grunde eingetretenen schnelleren Blutbewegung (§. 179). Sie beurtheilten dabei die Breite des Haargefässes nach der des centralen rothen Blutstromes.

§. 537. Eine ähnliche Täuschung führte zu der Annahme, dass sich die Haargefässe selbstständig erweitern, mehr Blut aus diesem Grunde aufnehmen und die entzündeten Theile desswegen röther erscheinen. Beobachtet man den Vorgang unter einem Mikroskope, dessen Ocularblendung ein mikrometrisches Fadennetz enthält, so sieht man, dass er anders abläuft. Mag das Sinken der Geschwindigkeit von der künstlichen Verengerung der kleineren und kleinsten Schlagadern herrühren — eine Veränderung, die Brücke für die Hauptursache der natürlichen Entzündungsvorgänge hält — oder aus anderen mechanischen, aus thermischen (§. 533), elektrischen (§. 534) oder chemischen Ursachen (§. 535) hervorgehen, so muss sie zur nächsten Folge haben, dass die Dicke der farblosen Wandschicht abnimmt, sich also die rothen Blutkörperchen in dem ganzen Querschnitte des Haargefässes anhäufen. Dieses erscheint daher verbreitert, wenn man nicht den Vorgang genauer verfolgt. Die mikrometrische Messung zeigt dann, dass sich der Querschnitt im Anfange nicht vergrössert. Es kann später geschehen, wenn das vor dem Stockungsbezirke strömende Blut kräftiger anstösst und mehr einpresst, folglich die Haargefässe vermöge ihrer Dehnbarkeit erweitert werden. Die Theile erscheinen schon dem freien Auge röther, wenn auch der Durchmesser der Haargefässe noch nicht zugenommen hat. Die Blutflüssigkeit weicht leichter aus als die Blutkörperchen. Ein geringerer Druck reicht hin, jene fortzustossen. Die Stockung hat daher zur Folge, dass sich verhältnissmässig mehr rothe Blutkörperchen als Blutflüssigkeit in dem Gefässe anhäufen und diese den ganzen Querschnitt statt des mittleren Theiles des Rohres ausfüllen. Man erhält hier das Gleiche, wie wenn man Sand mit Wasser schüttelt. Die rasche Bewegung lässt ihn in der Flüssigkeit schweben, die langsame dagegen zu Boden sinken. Die Schwere bewirkt hier, was der Geschwindigkeitsdruck des Herzens und der elastischen Rückwirkung der Schlagadern in den Haargefässen erzeugt. Das Blut der Schlagadern, die dem Entzündungsbezirke vorangehen, stösst gegen die ruhenden Säulen und erzeugt daher eine ungewöhnliche starke Erweiterung, die ein auffallendes sicht- oder fühlbares Klopfen bedingt.

§. 538. Hat man die Stockung des Blutlaufes in der Schwimmhaut des Frosches durch einen auf die Schenkelschlagader ausgeübten Druck oder die Umschnürung des Oberschenkels erzeugt, so kann man die Ausgleichung derselben oder die Lyse nach der Beseitigung des Hindernisses Schritt für Schritt unter dem Mikroskope

verfolgen. Da der Druck in den wegsamen vorliegenden Gefässen steigt (§. 537), so sucht wiederum zunächst die leichter bewegliche Blutflüssigkeit in die ruhende Blutsäule, auf die sie stösst, einzudringen. Dieses hat zur Folge, dass die nächsten Blutkörperchen beweglicher werden. Man sieht daher oft, wie der Strom das zu äusserst liegende aufrüttelt, hin- und herbewegt und endlich fortreisst. Wiederholt sich dieses mehrere Male, so kann eine hinreichende Menge von Blutflüssigkeit eindringen, die übrige stockende Blutsäule mit den Druckschwankungen vor- und rückwärts gehen lassen und endlich entfernen. Hat man die Stockung durch Verbrennen erzeugt, so bersten oft einzelne Gefässe. Das ausgetretene Blut gerinnt rasch. Chemische Eingriffe ändern ebenfalls häufig die Dichtigkeit des Blutes. Die aus dieser und anderen Ursachen erzeugten Stockungen können auf dieselbe Art, wie die aus mechanischen hervorgegangenen Störungen allmälig schwinden.

§. 539. Da die Höhe der Pulswelle schon in den kleinsten Schlagadern unmerklich wird (§. 465), so liefern die Haargefässe keinen sichtlichen Wechsel von Erweiterung und Verengerung. Die weniger elastische Beschaffenheit ihrer Wände würde auch nicht diese Gestaltveränderung begünstigen. Die Geschwindigkeitszunahme der Blutbewegung, welche die Zusammenziehung der Kammer erzeugt, erschöpft sich ebenfalls unter regelrechten Verhältnissen, ehe sie das Gebiet der Haargefässe erreicht. Diese zeigen daher auch keine abwechselnde Beschleunigung und Verzögerung, sondern einen gleichförmig fortlaufenden Strom. Die Schnelligkeiten wechseln nur häufig auf das Mannigfachste in den einzelnen Haargefässen nach kurzen Zeiträumen, weil sich die Widerstände in den vor- und den rückwärts liegenden Abschnitten ändern. Setzt dagegen der Herzschlag des absterbenden Frosches längere Zeit aus, so rückt die Blutsäule mit jeder Kammerverkürzung sichtlich vorwärts, nachdem sie früher langsamer in der gewöhnlichen Richtung fortgeschritten oder selbst unmittelbar vorher in der entgegengesetzten zurückgewichen ist. Die bleibende Spannung des Schlagaderblutes (§. 451) kann dabei bedeutend sinken. Die neue Kammerverkürzung, welche eine ruhende oder eine langsam bewegte Flüssigkeit fortzustossen hat, begegnet einem grösseren Widerstande (§. 448) und erzeugt eine verhältnissmässig grosse Druckverstärkung, die vor den Haargefässen und selbst bis zu den Blutadern noch nicht aufgezehrt wird. Das vorangehende Zurückweichen der Blutsäule kann davon herrühren, dass die Vorhofsverkürzung Blut in die Hohlvenen treibt

oder die elastische Gegenwirkung dasselbe in einzelnen Gefässbezirken rückwärts drückt. Ziehen sich die Schlagadern aus irgend einem Grunde vermöge ihrer Muskelelemente bleibend zusammen, so wirken sie als starrere Röhren, so dass die Fortpflanzung der Herzstösse aus diesem Grunde weiter reicht (§. 204).

§. 540. Die Festgebilde des Blutes, vorzugsweise die rothen Blutkörperchen geben einen Anhaltspunkt, die Geschwindigkeit ihrer Bewegung zu messen. Man darf jedoch nicht übersehen, dass im Allgemeinen ihre Ortsveränderung etwas langsamer als die der Blutflüssigkeit in der Mitte des Stromes und beträchtlich schneller als die der Wandschicht ist (§. 533). Man untersucht die Verhältnisse am Einfachsten, wenn man die Beobachtung unter möglichst schwacher Vergrösserung eines Mikroskopes anstellt, das ein mikrometrisches Fadennetz in der Blendung seines Oculares führt und gleichzeitig ein Secundenpendel an dem einen äussersten Punkte seines Schwingungsbogens an ein klingendes Glas schlagen lässt. Bestimmt man, welche Zahl hörbarer Secunden verstreicht, bis ein und dasselbe Blutkörperchen den möglichst geradlinigen Weg von einem äussersten Mikrometerfaden bis zum anderen durchsetzt hat, so lässt sich die Secundengeschwindigkeit berechnen [1]). Die verhältnissmässig grossen Zeitirrungen, die Fehler, welche die nicht ganz geradlinige Bahn der Haargefässe und der Wechsel der Schnelligkeit bedingen, lassen immer nur ungefähre Werthe gewinnen.

§. 541. Hales [2]) kam schon der Wahrheit nahe, als er in den geraden Bauchmuskeln des Frosches beobachtete, dass die Blutkörperchen der Haargefässe 9 Secunden brauchten, um die Weglänge eines Zehntheiles eines englischen Zolles zu durchsetzen. Dieses gibt eine Secundengeschwindigkeit von 0,28 Mm. (§. 452). E. H. und Ed. Weber [3]) erhielten 0,45 bis 0,64 Mm. für den Schwanz der Froschlarven, ich 0,24 bis 0,78 Mm. für die Schwimmhaut erwachsener Frösche und Volkmann [4]) 0,25 für die Kiemen von

[1]) Es versteht sich von selbst, dass man die scheinbare Geschwindigkeit durch die Linearvergrösserung des Mikroskopes theilen muss, wenn man nicht vorher den Werth der Mikrometergrade auf ihre wahre Grösse zurückgeführt hat.

[2]) Hales a. a O. p. 58. Die Angabe, dass der Blutlauf in den Haargefässen der Lungen des Frosches 13 Mal schneller sei, beruht wahrscheinlich auf einer irrthümlichen Zeitbestimmung. Hales brauchte dazu eine Uhr, die 16,000 Mal in der Stunde schlug. (Hales a. a. O. p. 215).

[3]) E. H. Weber, Müller's Arch. 1838. S. 466.

[4]) Volkmann, Hämodynamik. S. 184. 185.

Salamanderlarven, 0,4 Mm. für den Schwanz von Froschlarven, 0,12 für die Schwanzflosse eines kleinen Fisches und schätzungsweise 0,8 Mm. für die Haargefässe des Gekröses eines jungen Hundes. VIERORDT[1]) gebrauchte zwei neue Methoden für diese Bestimmungen, die Untersuchung des Blutlaufes durch eine sich drehende lückenhafte Scheibe mit gleichzeitiger Bestimmung, bei welcher Geschwindigkeit derselben er still zu stehen schien und die subjective Anschauung der Blutströmung in dem eigenen Auge[2]). Das erste Verfahren gab ihm 0,36 Mm. für die Schwimmhaut des Frosches[3]) und das zweite 0,6 bis 0,9 Mm. für sein eigenes Auge[4]). Die Durchschnittszahl 0,51 Mm., die mir 24 Einzelbestimmungen lieferten, dürfte daher als erste ungefähre Annäherung eines allgemeinen Werthes gelten können. Das Blut schleicht hiernach nur langsam durch die Haargefässe. Kommt uns die Bewegung unter dem Mikroskope rasch vor, so muss man bedenken, dass hier nur der durchlaufene lineare Raum, nicht aber die Zeit mit der Linearvergrösserung zunimmt, mithin die scheinbare Geschwindigkeit oder der Quotient jenes Raumes und der Zeit wächst. Man erkennt daher auch nur die einzelnen Blutkörperchen, bis die Vergrösserung eine gewisse Stärke nicht überschreitet.

§. 542. Betrüge die Secundengeschwindigkeit an dem Anfange der Aorta $^2/_5$ Meter (§. 483), so würde sich ergeben, dass unser Blut ungefähr 800 Mal so langsam in den Haargefässen zu laufen pflegt. Der Schluss, dass der Gesammtquerschnitt der letzteren um eben so viel grösser sei[5]), wäre nicht gerechtfertigt, weil noch die Druck

[1]) Siehe das Nähere bei VIERORDT, Stromgeschwindigkeiten. S. 35—48.

[2]) Die Erscheinung selbst erwähnt schon HALLER, De c. h. f. Tom. III. p. 89. 90.

[3]) VIERORDT S. 39.

[4]) VIERORDT S. 111. 112.

[5]) Nennt man v' die Schnelligkeit des Blutes der aufsteigenden Aorta und v'' die durchschnittliche Geschwindigkeit desselben in den Haargefässen des Körperkreislaufes, q' den Querschnitt der ersteren und q'' die Gesammtsumme der Querschnitte der letzteren, so hätte man $v'q' = v''q''$ und $q'' = q' \frac{v'}{v''}$, wenn die Querschnittsbeziehungen allein maassgebend wären (§. 157). Man berechnete auch demgemäss, dass das gesammte Flussbett der Haargefässe des grossen Kreislaufes 500 bis 800 Mal so stark als das des Anfanges der Aorta sei. Da aber der Werth von v'' nicht bloss von dem Verhältnisse der Querschnitte, sondern auch von den Widerständen der Theilungen (§. 180) und der Reibungen (§. 177) abhängt, so wird $q'' = q' \frac{v'}{kv''}$, wenn man die Einflüsse aller dieser Nebenbedingungen unter dem Coëfficienten k zusammenfasst. Die Gesammt-

verzehrenden Widerstände in Betracht kommen. Er kann also um so viel kleiner ausfallen. Gerathen die farblosen Blutkörperchen in die Wandschicht (§. 527), so rollen sie oft um das Vier- bis Zehnfache langsamer als die rothen Körperchen des Centralstromes dahin und stehen selbst für merkliche Zeiträume gänzlich still.

2. Theoretische Ergänzungen.

§. 543. Wir haben §. 183 gesehen, dass sich das Poiseuille'sche Gesetz (§. 179) in Glasröhren, die bis 2,8 Millimeter Durchmesser haben, in merklichem Grade geltend machen kann. Man würde irren, wenn man dieses auf die Gefässe des Thierkörpers ohne Weiteres übertrüge, weil diese einen kleineren Reibungscoëfficienten besitzen und die Klebrigkeit des lebenden Blutes eine andere als die des Wassers oder des Blutserums ist. Lehrt auch die Betrachtung der Blutbewegung in den kleinsten Schlag- und Blutadern, dass sich hier die Nachtheile, die das Poiseuille'sche Gesetz bedingt, in Röhren von $^1/_{12}$ bis $^1/_{16}$ Mm. Durchmesser in keiner auffallenden Weise geltend machen, so unterliegt es doch keinem Zweifel, dass es seine volle Wirksamkeit in den dünnsten Haargefässen finden wird. Die nächste Folge ist, dass die durch den Widerstand der Wände erzeugte Geschwindigkeitsabnahme in den engen Röhren nicht wie in weiten, in einfachem, sondern in quadratischem Verhältnisse der Durchmesser oder in geradem der Querschnitte wächst (§. 179). Das Blut muss daher durch einen mit schmaleren Haargefässen versehenen Theil unverhältnissmässig langsamer strömen. Da sich die Ausflussmengen enger Röhren gerade wie die Druckhöhen und die

---

summe der Querschnitte der Haargefässe fällt also kleiner als nach der blossen Querschnittsberechnung aus.

Es wurde schon §. 488 angeführt, dass die Kleinheit des Gefässquerschnittes zwei entgegengesetzte Wirkungen erzeugt. Sie vergrössert die Geschwindigkeit und erhöht die Widerstände. Hoffmann, der weder diese zweite Wirkungsweise, noch das Wachsthum der Gesammtsumme der Querschnitte von den Schlagadern nach den Haargefässen berücksichtigte, stellte daher die Behauptung auf, dass das Blut in diesen rascher ströme. Keil und Nicolai (De directione vasorum pro modificando sanguinis circulo. 1725. Haller, Disput. anat. Vol. II. 1747. 4. p. 535—537) berichtigten diesen Irrthum zwei Jahrzehnte vor Hales, der zuerst die Blutgeschwindigkeit in den Haargefässen unter dem Mikroskope unmittelbar zu messen versuchte.

vierten Potenzen (§. 179) oder nach HELMHOLTZ (§. 181) zum Theil wie die vierten und zum Theil wie die dritten Potenzen der Durchmesser und umgekehrt wie die Längen verhalten, so folgt, dass ein Haargefäss um so mehr Blut nach den Blutadern in der Zeiteinheit überführt, je stärker der von den Schlagadern wirkende Druck und je kürzer es selbst ist. Der Durchmesser macht sich dabei nach seiner vierten oder dieser und der dritten, in breiteren Röhren dagegen nur nach der letzteren Potenz geltend. Jedes einzelne der langen und schmalen feinsten Capillargefässe, wie wir es z. B. in den Muskeln antreffen, führt daher verhältnissmässig wenig Blut nach den Blutadern über. Die grosse Zahl derselben kann dessenungeachtet eine beträchtliche Ausflussmenge liefern. Die Einrichtung hat zur Folge, dass viel Blut durchgeht, dieses aber länger in dem Gewebe verweilt, als wenn gröbere Haargefässe vorhanden wären.

§. 544. Müssen schon die mannigfachen Formen der Netzbahnen, wie sie die arteriösen und venösen Wundernetze darbieten, den Druck und die Geschwindigkeit wesentlich ändern, so wird sich dieses für die Haargefässe durchgreifender wiederholen, weil hier die eigenthümlichen Einflüsse des Poiseuille'schen Gesetzes hinzukommen. Man braucht nur den schnelleren Blutlauf in den Lungen des Frosches mit dem langsameren in der Schwimmhaut dieses Thieres zu vergleichen, um die Ueberzeugung zu gewinnen, dass die bedeutendere Kürze und der oft weitere Durchmesser der Haargefässe der ersteren und der stärkere Druck die Nachtheile der grossen und häufigen Winkelbiegungen (§. 189) mehr als ausgleicht. Es ist nicht ohne Bedeutung, dass das Gehirn und das Rückenmark, die Nerven und die Muskeln viele lange und feine Haargefässe besitzen, dass das Blut durch die einfachen und groben Schlingen der Nagelmatrix rascher als durch die mit eingeschalteten Haargefässen versehenen der Darmzotten strömt, dass der Mutterkuchen und die Gebärmutterschleimhaut der schwangeren Frau überhaupt Haargefässe besitzen, deren Durchmesser bis ein Millimeter und mehr beträgt. Man wird endlich in allen Organen Unterschiede haben, je nachdem das Blut ziemlich plötzlich oder allmälig in feine Capillaren übergeht. Die Betrachtung der Einnahmen und der Ausgaben des Körpers wird uns oft zu den Einflüssen dieser Formverschiedenheiten der Haargefässe zurückführen [1]). Sind Haargefässe in beweglichen Theilen eingebettet,

---

[1]) Eine Reihe vergleichender Abbildungen der Art findet sich in meinem Grundrisse. Vierte Aufl. Taf. VI. Fig. LXXXI bis XCV. u. S. 167. Fig. 117—120.

so kann die Durchmesserveränderung von diesen die Geschwindigkeit des Blutlaufes und die Durchflussmengen des Blutes wesentlich ändern. Wir haben schon §. 470 bemerkt, dass sich die Athmungscapillaren der Lungen während der Einathmung ausdehnen. Werden sie dabei länger und schmäler, so lässt das Poiseuille'sche Gesetz das Blut langsamer als während der Ausathmung durchtreten [1]). Strömt es in den durch die Kammerzusammenziehung erweiterten Schlagadern schneller, so muss es in den Ernährungsgefässen, die in ihren Wänden liegen, aus ähnlichen Gründen in demselben Augenblicke minder rasch fliessen, wenn nicht die Dehnung Schlängelungen [2]) oder andere Widerstandsursachen beseitigt. Wir werden sehen, dass sich ähnliche Verhältnisse in den Absonderungswerkzeugen und den anderen Organen wiederholen können.

§. 545. Das zellige Epithelium der Innenfläche der Haargefässe der verschiedensten Körpertheile (§. 528) bestimmt den Grad der Glätte der Blutbahn und daher auch den Gleitungscoëfficienten und die Geschwindigkeit in wesentlicher Weise. Die mikroskopische Untersuchung krankhafter Theile wird wahrscheinlich oft genug Aenderungen jener Epithelialgebilde, wie Fettentartung [3]), Schwellung, unregelmässige Verhornung nachweisen, aus denen sich eine vorhandene Verlangsamung oder Stockung des Blutlaufes erklären lässt. Aehnliche Störungen können daraus hervorgehen, dass das Blut oder ihm beigemengte Flüssigkeiten eine solche Beschaffenheit besitzen, dass die Coëfficienten der inneren und der äusseren Reibung (§. 177 fgg.) beträchtlich wachsen. Es hängt z. B. von der Menge und der Zähflüssigkeit des Oeles ab, ob dessen Einspritzung in die Drosselblutader oder in die Pfortader eine fettige Embolie bedingt oder nicht, ob viele Haargefässe der Leber und der Lungen durch die Oelmasse verstopft werden und sich daher eine scheinbare Fettleber und Athembeschwerden erzeugen oder der Eingriff ohne schädliche Folgen ertragen wird. Es kommt hierbei auch viel darauf an, ob die Oelmassen von eiweisshaltigen Körpern, die an der Innenfläche der Haargefässe dahingleiten, umgeben werden oder nicht. Geringe Oelmengen, von der Drosselvene aus eingeführt, schaden im Allgemeinen weniger, weil sie in dem rechten Herzen

[1]) Vgl. auch Poiseuille, Comptes rendus. Tome XLI. 1855. p. 1072—1076.

[2]) Ueber Schlängelungen und Ortsveränderungen, die sich unter krankhaften Verhältnissen ausbilden, s. Wedl, Sitzungsber. d. Wien. Akad. Bd. XLVIII. 1863. S. 384.

[3]) Ueber einen Fall von Fettentartung der Epithelien der kleineren Blutgefässe des Gehirns s. H. Müller, Würzburger med. Zeitschr. Bd. V. 1864. S. 73—75.

mit dem Blute inniger gemischt und emulsionirt werden. Drängt sich allmälig Blutflüssigkeit zwischen den Gefässwänden und der Oelschicht ein, so muss dieses die Lösung der Stockung wesentlich begünstigen. Den grossen Widerstand eingezwängter Luftblasen haben wir schon §. 108 kennen gelernt.

§. 546. Die unvollkommene Elasticität (§. 480), die bleibende Verengerung (§. 489), theilweise oder vollkommene Verstopfungen der Schlagadern können die Geschwindigkeit des Blutlaufes der Haargefässe wesentlich herabsetzen und endlich bis zu Null verkleinern. Der Stillstand tritt im Allgemeinen eher in den feineren als in den dickeren, leichter in den längeren als in den kürzeren Haargefässen auf. Da mässige äussere Drucke eben so durchgreifend stören (§. 532), so folgt, dass eine gewisse Menge von Haargefässen der Fusssohle bei dem Stehen, des Gesässes bei dem Sitzen, der Hinterseite des Rumpfes bei dem Liegen unwegsam wird. Das Erblassen aller Hautstellen überhaupt, die längere Zeit gedrückt worden, rührt von der gleichen Ursache her. Etwas Aehnliches kann sich in Folge von Drucken wiederholen, welche Muskelverkürzungen, die übermässige Füllung des Nahrungscanales, benachbarte Verhärtungen oder Geschwülste erzeugen. Die Begünstigung, welche die Wärme darbietet und der Nachtheil, den die Kälte für die Blutbewegung in den Haargefässen erzeugt (§. 533), wechseln in hohem Grade mit den Formen und den Durchmessern der Haargefässe. Dieses kehrt dagegen im Ganzen nur in geringerem Maasse für die elektrischen Erregungen und die chemischen Wirkungen wieder.

IV. Die Blutadern.

1. Druck und Geschwindigkeit des Venenblutes.

§. 547. Untersucht man den Kreislauf in der Schwimmhaut des Frosches, so sieht man, dass das Blut nicht bloss in den Schlagadern, sondern auch in den Venenanfängen rascher als in den Haargefässen strömt, weil die Summe der einzelnen Querschnitte oder das Gesammtprofil von diesen grösser als das der zu- oder der abführenden Stämme ist (§. 157). Es kann dabei vorkommen, dass die Bewegung in einer Vene schneller als in der zugleich in dem Gesichtsfelde befindlichen Arterie erscheint. Man darf aber hieraus nicht schliessen, dass die Strömung immer in einer Blutader rascher als in einer Schlagader von gleichem Querschnitte ausfällt, weil jene nur noch den geringeren Widerstand der vorliegenden Venen, diese dagegen den grösseren der nachfolgenden Haargefässe hat und daher mehr für den Wanddruck und weniger für den Geschwindigkeitsdruck verwendet wird (§. 441). Eine Reihe anderer Umstände vereinigt sich vielmehr, die Spannung und die Geschwindigkeit des Venenblutes in jeder Hinsicht zu verkleinern. Dieses schliesst nicht aus, dass günstige Nebendingungen die Schnelligkeit der Bewegung in einem einzelnen Venenrohre wesentlich erhöhen.

§. 548. Da die Haargefässe eine bedeutende Menge von Druckkraft durch ihren Gleitungswiderstand aufzehren (§. 527), so muss die für die Blutadern übrig bleibende Rückenkraft (Vis a tergo) beträchtlich kleiner als für die entsprechenden Schlagadern ausfallen. Die geringe Elasticität der Venenwände gewährt auch nicht die Vortheile, welche die Federkraft der Schlagadern darbietet (§. 489). Die gefüllten Blutadern besitzen grössere Querschnitte als

die ihnen gleichlaufenden Schlagadern. Sie gestatten zugleich eine stärkere Dehnung. Man hat zwei Venen statt einer Arterie an vielen Stellen z. B. in gleichem Verlaufe an dem Vorderarme und dem Unterschenkel und mittelbar an dem Halse. Das Verhältniss fällt noch günstiger für die Blutadern aus, wenn man die Sinus der Schädelhöhle und des Wirbelcanales, die Venen der Diploë oder der Markmasse der Knochen überhaupt mit den in denselben Theilen verlaufenden Schlagaderstämmen vergleicht und die Hautvenen, denen keine besonderen Arterien entsprechen, so wie die zahlreichen Venenanastomosen des Körperkreislaufes hinzurechnet. BORELLI nahm daher an, dass der Rauminhalt der Blutadern das Vierfache von dem der Pulsadern beträgt. SAUVAGES und HALLER führten diesen Werth auf $2^1/_4$ zurück. Die bedeutende Erweiterung des venösen Flussbettes muss die Geschwindigkeit herabsetzen. Da die Querschnittsgrösse auf eine gewisse Zahl von Röhren vertheilt ist, so vermehrt sich hierdurch die Ausdehnung der Reibungsflächen, so dass der Druck und die Geschwindigkeit noch mehr abnehmen. Beide ändern sich aber nicht immer in gleichem Maasse. Sie können sogar in entgegengesetztem Sinne wechseln. Der Druck sinkt im Allgemeinen nach dem Herzen zu, weil eine grössere Summe von Widerständen auf der durchlaufenen Bahn überwunden worden. Wie man sich aber das Schlagadersystem unter dem Bilde eines Kegels vorstellen kann, dessen Querschnitt von dem Herzen nach der Peripherie zunimmt (§. 483), so lässt sich das Venensystem als ein ähnlicher grösserer und umgekehrt gerichteter Kegel auffassen. Der Inhalt strömt daher unter sonst gleichen Verhältnissen um so rascher, je mehr er sich dem Herzen nähert.

§. 549. HALES fand wiederum zuerst (§. 461) die beiden hierher gehörenden Hauptsätze, dass der Blutdruck in den Venen um Vieles kleiner als der in den entsprechenden Schlagadern ist und ihn desshalb äussere Eingriffe, wie die Athmung oder die Verkürzung benachbarter Muskeln auf das Wesentlichste ändern können. Hatte er seine Manometerröhre (§. 450) in die Drosselblutader einer Stute in peripherischer Richtung gesetzt, so erhielt er einen Blutdruck von 24 Millimetern Quecksilber. Die Spannung stieg auf 41 Mm. bei geringen und über 74 Mm. bei sehr kräftigen Anstrengungen des Thieres. Die nach einem Blutverluste von 70 Cubikzoll untersuchte Carotis lieferte 176 Mm.[1]). HALES gibt noch 12 Mm.

[1]) HALES a. a. O. p. 16. 17.

Quecksilber für den kleinsten Werth der Drosselvene von Hunden an. Der grösste, wahrscheinlich unter plötzlichen Athmungsanstrengungen erhaltene betrug 201 Mm.[1]). Diese hohe Zahl rührt wahrscheinlich davon her, dass die zu rasch eingreifende Druckänderung die Blutsäule über die wahre Spannungshöhe hinausschiessen liess (§. 457).

§. 550. Das Blut, das eine Schlagader einem Gefässbezirke zugeführt hat, findet eine Reihe von Abzugscanälen in den mehrfachen und oft mit einander anastomosirenden Blutadern. Die vergleichende Untersuchung des Blutdruckes einer Arterie und einer ihr parallel laufenden Vene kann daher keinen genügenden Aufschluss geben, welcher Unterschied zwischen dem arteriellen und dem venösen Theile eines Gefässbezirkes wahrhaft besteht. Solche Manometermessungen bekräftigen eben nur im Allgemeinen, dass die Spannung des Venenblutes bedeutend geringer als die des Schlagaderblutes ist. Hatte z. B. VOLKMANN[2]) vier Druckmesser gleichzeitig in einem Kalbe eingesetzt, so gaben die Carotis 166, die Drosselblutader 9, die Fussrückenschlagader 146 und die ihr entsprechende Vene 27,5 Mm. Quecksilber. Die dem Herzen nähere Blutader lieferte also einen kleineren Druck, während das Umgekehrte für die Schlagadern stattfand. Man darf hieraus nicht schliessen, dass jene Norm in allen Fällen wiederkehrt. Die Schenkelblutader kann einen grösseren Blutdruck als die Armvene zeigen, wenn sich die dahinter liegenden Widerstände aus irgend einem Grunde für sie verkleinert haben oder andere Abflussbahnen ihres Gebietes weniger Blut durchlassen. Man muss es auch von diesem Gesichtspunkte deuten, wenn POISEUILLE und MAGENDIE[3]) den Druck in der Schenkelvene fast bis zu dem der Schenkelschlagader in einem Hunde steigen sahen, nachdem sie alle anderen Rückwege am Oberschenkel geschlossen hatten[4]). Die Füllung der Blutader, die den einzigen Abzugscanal darstellte, musste auf diese Weise immer mehr steigen und die Spannung so sehr zunehmen, dass der Unterschied nur dem Werthe entsprach, den die Reibung und die Ausdehnung der Zwischenröhren aufzehrte.

---

[1]) HALES p. 35.

[2]) VOLKMANN, Hämodynamik. S. 173.

[3]) MAGENDIE, Leçons sur les phénomènes physiques de la vie. Tome III. Paris 1837. 8. p. 181.

[4]) Vgl. auch BERGMANN in R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie. Bd. II. Braunschweig 1844. 8. S. 284.

§. 551. Eine eigenthümliche Anordnung kann hier begünstigend eingreifen. Spritzte SUCQUET[1]) geringe Mengen von Wasser in die Armschlagader von Menschenleichen, so kehrte die Flüssigkeit durch die Venen leicht zurück. Wiederholte er den Versuch mit erstarrenden Massen, so zeigte sich unter der Loupe, dass viele der feinsten Schlagaderzweige in Blutadern unmittelbar übergehen. Die Wurzeln der Speichenhautvene (Cephalica antibrachii) und der Ellenbogenhautvene (Basilica) entstehen unter Anderem auf diese Weise. ROBIN fand solche Uebergänge von 0,006 bis 0,010 Mm. Durchmesser an der Fingerhaut, vorzugsweise am Nagelgliede, dem Daumenballen, dem Ellenbogen, den Knochen desselben und den Handsehnen. Man hat das Gleiche am Kniee und dem Fusse. Nicht nur die grosse vordere und die kleine hintere Rosenader (V. V. saphenae magna und parva), sondern auch tiefere Venen bilden die Abzugscanäle für diese kürzeren Verbindungen. Die Augen-, die Ohr- und die Antlitzvene (V. V. ophthalmica, auricularis und facialis) übernehmen ähnliche Rollen für den Kopf und den Hals. Da die grössere Kürze der Zwischenbahnen und der bedeutendere Einzeldurchmesser derselben geringere Widerstände bedingen, so darf man auch erwarten, dass die Blutspannung einer Vene um so mehr unter sonst gleichen Verhältnissen verhältnissmässig steigt, je zahlreichere unmittelbare Uebergänge zu Gebote stehen. Vergrössern sich diese im Greisenalter, wie SUCQUET[2]) gefunden zu haben glaubt, so würde hierdurch die Rückkehr des Blutes zum Herzen in höheren Jahren wesentlich erleichtert.

§. 552. Die regelmässige Fortdauer des Kreislaufes bleibt gesichert, wenn das zum Herzen fliessende Blut mit der nöthigen Spannungsgrösse an den Vorhofsmündungen anlangt. Diese muss bedeutend genug sein, um den elastischen Widerstand, den die Vorkammerwände der stärkeren Ausdehnung entgegensetzen, überwinden zu können. Das Blut tritt nur so lange in die Vorhöfe, als sein Druck stärker wie dieser Gegenwerth ausfällt. Da aber dieser unter gewöhnlichen Verhältnissen klein bleibt, so schadet es auch nicht, wenn der grösste Theil der Spannung des Schlagaderblutes auf den Zwischenwegen aufgezehrt wird. Dieses gewährt den Vortheil, dass verhältnissmässig kleinere absolute Werthe der bleibenden Spannung

[1]) J. P. SUCQUET, De la circulation du sang dans les membres et dans la tête chez l'homme. Paris 1860. S. p. 6—42.

[2]) SUCQUET p. 49—51.

und der systolischen Druckvergrösserung des Schlagaderblutes zur Unterhaltung des Kreislaufes hinreichen. Die Rückenkraft des Inhaltes der äusseren Drosselvene des Hundes pflegt $^1/_{10}$ bis $^1/_{12}$ des Druckes in der Halsschlagader zu betragen. Sie kann aber auf $^1/_{175}$ und noch mehr hinuntergehen, so dass man nur 2 bis 3 Centimeter Wasser- oder 2 bis 3 Millimeter Quecksilberdruck hat.

§. 553. Die schwache Spannung des Venenblutes macht es möglich, dass äussere Einflüsse den Venenblutlauf wesentlich ändern können. Da jeder Muskel seinen Querschnitt durch die Zusammenziehung vergrössert, so entleert er auch häufig benachbarte Blutadern oder hindert die vollständige Füllung derselben. Andere Druckwirkungen, wie sie §. 546 angeführt wurden, können ähnliche Folgen nach sich ziehen. Es versteht sich unter diesen Verhältnissen von selbst, dass die Athmung einen wesentlichen Einfluss auf den Venenblutlauf auszuüben vermag. Man muss sich aber hier vor unrichtigen Urtheilen, die sich bis auf die neueste Zeit erhalten haben, hüten.

§. 554. Es kommt in mageren Menschen häufig vor, dass die äusseren Drosselblutadern während des Anfanges einer tiefen Einathmung abschwellen und sich im Beginne der Ausathmung oder schon früher von der Peripherie aus stärker füllen. (Vgl. §. 432.) Diese Verhältnisse sind häufig seit Poiseuille, Barry und Wedemeyer auf manometrischem Wege untersucht worden.. Man füllt einen Blutkraftmesser mit Quecksilber und einer Lösung von unterkohlensaurem Natron (§. 452), wenn kleinere Ausschläge genügen oder nur mit Natronflüssigkeit oder Wasser, wenn die geringen Drucke grössere Bewegungen der Prüfungssäule erzeugen sollen (§. 24) und führt ihn nicht nach dem Kopfe, sondern nach dem Herzen gerichtet in die Drosselblutader ein. Geht die Flüssigkeit in dem absteigenden Theile (cn Fig. 17. S. 338) hinauf und in dem aufsteigenden (dn) hinunter, so wird das Blut gegen das Herz zu angesogen. Man hat also eine kleinere Spannung als die der Atmosphäre und nennt dieses unpassender Weise (§. 144) mit den Hydraulikern einen n e g a t i v e n D r u c k. Der entgegengesetzte Fall gibt einen p o s i t i v e n. Jener soll während der tiefen Ein- und dieser während der nachdrücklichen Ausathmung auftreten. Magendie und Poiseuille erhielten z. B. in der äusseren Drosselvene von Hunden einen Druckwechsel von —30 bis —90 Mm. für die Zeit des Ein- und von +50 bis +120 Mm. Quecksilber für die des Ausathmens. Schmerzen und das nachfolgende Schreien können

die Schwankungen bis auf —150 und +250 oder noch weiter ausdehnen. Man darf aber mit vieler Wahrscheinlichkeit annehmen, dass ein Theil dieser Werthe, wo nicht alle, wiederum (§. 549) zu hoch ausfielen, weil die plötzliche Aenderung die Flüssigkeitssäule die Gleichgewichtslage rasch überschreiten liess (§. 457). Die §. 467 fgg. erläuterten Thatsachen lehren ferner, dass der Druck nur während des Anfanges der Ein- und des Endes der Ausathmung sinken, in dem weiteren Verlaufe von jener und am Beginne von dieser dagegen steigen wird. Die Athmungsschwankungen greifen natürlich in den der Brust näheren Blutadern stärker als in den entfernteren durch. Man bemerkt sie daher z. B. in den Drosselvenen, nicht aber in der Schenkelvene. Die Anastomosen machen es endlich möglich, dass sich die Athmungseinflüsse noch in Druckänderungen verrathen, wenn man auch den Blutkraftmesser in eine Blutader in der Richtung nach dem Kopfe zu eingesetzt hat. Ich erhielt z. B. auf diese Weise —2 bis +15 Mm. Quecksilber für die äussere Drosselvene des Hundes.

§. 555. Die Wirkung der Schwere kann sich für den Venenblutlauf um so merklicher geltend machen, je geringer die ihr entgegengesetzte Blutspannung ist. Wir wollen uns zunächst die Aorta mit ihren Verzweigungen bis zur Fusssohle und die Hohlvene mit den in sie unmittelbar oder mittelbar übergehenden Blutadern unter dem Bilde eines senkrecht aufgestellten zweischenkeligen Rohres denken. Die in der Schwererichtung wirkende Druckhöhe, die in gleichem Sinne mit der Blutbewegung der Schlagadern und in entgegengesetztem mit der der Blutadern thätig ist, beträgt im Erwachsenen weniger als 1,4 Meter. Eine Blutsäule von dieser Höhe würde einen Bodendruck (§. 32) von 108 Mm. Quecksilber ausüben (§. 24). Die Spannung des Schlagaderblutes könnte im Nothfalle einen Widerstand überwinden, der diesem Werthe nahe kommt, wenn es sich hierum überhaupt handeln würde. Bleiben wir aber bei dem Bilde der zweischenkeligen Röhre stehen, so ergibt sich, dass eine solche von einzelnen Schriftstellern getheilte Auffassungsweise der Wahrheit nicht entspricht. Erhöht man den Spiegel des einen Röhrenschenkels, so steigt auch der des anderen, bis das hydrostatische Gleichgewicht (§. 24) erreicht ist, ganz gleichgültig, ob der Bodendruck früher klein oder gross war und ob viel oder wenig Flüssigkeit hinzugefügt worden. Der Druck gegen den tiefsten Punkt kann höchstens die Verhältnisse insofern ändern, als er die durch die Festigkeit der Wände vorgeschriebenen Grenzen überschreitet und

daher den untersten Theil der zweischenkeligen Röhre sprengt. Der durch ein ähnliches periodisches Eingiessen erzeugte Blutlauf geht daher auch im Allgemeinen in wesentlich gleicher Weise vor sich, es mögen die Bahnen seiner Schlag- oder die seiner Blutadern in der Schwererichtung verlaufen oder nicht. Diese kann sich aber eher geltend machen, wenn die Blutsäule einzelne Theile, z. B. die Klappen, in der Ruhe oder bei dem Zurücksinken belastet und daher mit ihrem Bodendrucke beschwert (§. 32). Der dahinter liegende Blutstrom muss dann einen um so grösseren Druck zur Oeffnung derselben verwenden, je länger der Zwischenraum zwischen zwei Klappen oder die entgegendrückende Blutsäule überhaupt ausfällt (§. 557).

§. 556. Die Taschenventile, die man mit dem Namen der Venenklappen bezeichnet, haben im Allgemeinen denselben gröberen Bau und die gleiche Thätigkeit wie die halbmondförmigen Klappen der Lungenschlagader und der Aorta (§. 366 fgg.), nur dass ihnen die Stützknötchen mangeln. Da ihre Mündungen gegen das Herz gerichtet sind, so legt sie das Blut an die Venenwand, wenn es nach dem Herzen strömt und versperrt sich selbst den Rückweg, indem es die Taschen füllt. Die dreitaschigen, wie man sie in den Drosselblutadern und den Schenkelblutadern findet, die zweitaschigen, die im Verlaufe grösserer Stämme, besonders aber an den Einmündungsstellen von Zweigen vorkommen und die regelwidrigen vier- oder fünftaschigen schliessen in der Regel vollständig, so lange nicht das Blut das Venenrohr aus irgend einem Grunde zu stark ausdehnt (§. 433). Die eintaschigen, denen man in den kleineren Blutadern und oft an den Uebergangsstellen mittelgrosser Venen in stärkere begegnet, versperren zwar den Durchgang ebenfalls vollständig, wenn die Blutfüllung einen gewissen Grad nicht überschreitet. Sie wirken aber bei grösserer Ausdehnung unvollkommener. Ist eine Tasche durchlöchert oder auf einen ausgespannten Faden zurückgeführt, so hört natürlich jeder genügende Abschluss auf.

§. 557. Man hat oft behauptet, dass die Venenklappen den Zweck hätten, das durch die Schwere bedingte Zurücksinken des Venenblutes zu verhüten. HARVEY[1]) bemerkte schon dagegen, dass die Klappen der Drosselblutadern gerade entgegengesetzt gestellt sind, sich öffnen, wenn das Blut in der Schwererichtung strömt und sich bei dem Zurückweichen in entgegengesetzter Bahn schliessen.

---

[1]) HARVEJI Exercitationes de motu cordis. Roterdami 1676. 8. p. 121.

Die Taschenventile widersetzen sich dem Rückgange des Blutes, er möge dem Zuge der Schwere entsprechen oder nicht. Sie leisten um so wichtigere Dienste, als äussere Drucke die geringe Spannung des Venenblutes leicht überwinden. Pressen die verkürzten und daher verdickten Muskeln eine Blutader zusammen (§. 553), treiben die Einflüsse der Athmung das Venenblut von der Brusthöhle zurück (§. 554), so verhüten es die Klappen, dass die Flüssigkeitssäule in einer langen Strecke peripherisch ausweicht, indem die erste Klappe die Verschiebung hemmt und sich durch sie der Druck auf die von der zweiten und den folgenden Klappen abgeschnittenen Blutsäulen unvollkommener fortpflanzt.

§. 558. Nur ein Theil des Venensystemes, die mehr als 1 bis 2 Millimeter dicken Blutadern der freien Gebilde des Kopfes und des Halses, der Zunge, der übrigen Wände der Mundhöhle, der Mandeln, der äusseren Bedeckungen der Brust- und der Bauchhöhle, der Ruthe, des Hodensackes und seines Inhaltes und der Scheide besitzen vollkommene Klappen, die sich in verhältnissmässig kurzen Entfernungen wiederholen, so dass ihr Schluss die Blutsäulen in eine Reihe nicht langer Stücke sondert. Die Blutadern der Diploë, die Sinus der Schädelhöhle, die Venen des Gehirns, die Venengeflechte der Wirbelsäule und die Blutadern des Rückenmarkes, die freien Venenstämme und Venenzweige des Herzens, die Blutadern der Lungen, die der Bauch- und der Beckeneingeweide, die Hüftblutadern, die untere und der Stamm der oberen Hohlvene enthalten gar keine Taschen oder nur unvollkommene Falten statt der gewöhnlichen Venenklappen. Diese kommen jedoch auch häufig im Menschen in der unpaarigen Vene und an dem Uebergange der Nierenblutader in die untere Hohlvene und im Pferde in der Pfortader vor. Sind Venen in dichteren Theilen eingebettet, wie dieses z. B. für die Knochenvenen und die Blutaderstämme im Innern der Leber gilt, so werden auch die äusseren Drucke, gegen deren Eingriffe die Klappen schützen, von selbst hinwegfallen. Der Mangel der Klappen gestattet sonst ein längeres Ausweichen. Die Versuche von M'Donnel[1]) sprechen gegen die Ansicht, dass das Blut der Pfortader und mit ihm die aufgesogenen Getränke, nachdem sie die Leber durchsetzt haben, von der unteren Hohlvene aus in die Nierenvenen zurückweichen, wie Bernard gefunden zu haben glaubte. Tritt Blut aus dem rechten Vorhofe in die Hohlvenen, so können

---

[1]) M'Donnel, Journ. de physiol. de Brown-Séquard. Tome II. 1859. p. 300—308.

die in ihm enthaltenen Gemengtheile, z. B. Kohlenstücke, bis in die Blutadern der Leber und des Zwerchfelles vordringen (§. 433).

§. 559. Die Geschwindigkeit, mit der das Blut einen Venenstamm durchsetzt, wechselt vermuthlich innerhalb bedeutender Grenzen, je nachdem eine grössere oder eine geringere Menge von Nebencanälen ausserdem offen bleibt (§. 548). Will man daher die Verhältnisse mit einem Schnelligkeitsmesser (§. 193) untersuchen, so muss man sich vor jeder Verletzung und Unterbindung eines grösseren venösen Nebenstammes hüten und darauf sehen, dass nicht die unnatürliche Lage des Thieres die Blutbewegung durch Seitenzweige erschwert. Volkmann[1]) erhielt 225 Mm. für die Secundengeschwindigkeit des Blutes der Drosselvene eines Hundes als Mittelwerth von drei Beobachtungen. Vierordt[2]) fand, dass die angeschnittene Halsschlagader eines 20 Kilogr. schweren Hundes durchschnittlich 6,24 und die Drosselblutader 4,3 Cubikcentimeter Blut in der Secunde entleerte. Da der Widerstand der Luft in der Regel kleiner ist als der, den das Venenblut bei seinem Durchgange durch die unversehrte Blutader überwinden muss, so tritt durch einen Aderlass in der Zeiteinheit mehr aus, als ohne ihn durch die entsprechende Venenstelle fliessen würde. Wie alle Hindernisse des Durchganges durch Seitenzweige oder Anastomosen die Geschwindigkeit in dem geprüften Stamme erhöhen, so wird sie durch vorliegende Widerstände, durch Ursachen, die Druck in den früheren Gefässbezirken aufzehren und durch die Erweiterung der Blutadern sinken. Diese ungünstigen Verhältnisse können zuletzt zu Stockungen führen, in Folge deren sich Blutgerinnsel absetzen oder sich schichtweise um einen etwa schon vorhandenen Kern herumlagern. Es bedarf dann nur noch der Verkalkung, damit ein Venenstein den Hohlraum vorzugsweise einer kleineren Blutader ausfüllt. Die Venen des Beckens führen diese Ablagerungen am Häufigsten[3]).

---

[1]) Volkmann a. a. O. S. 195.

[2]) Vierordt a. a. O. S. 102 und S. 201.

[3]) Eine tabellarische Uebersicht der älteren Fälle findet sich bei: Ph. Phoebus, De concrementis venarum osseis et calculosis. Berolini 1832. 4. p. 14—20.

2. Dehnbarkeit und Verkürzungsvermögen der Blutadern. Venenpuls.

§. 560. Die bedeutende Menge elastischen Gewebes, welches die Schlagadern enthalten, beschränkt nicht bloss ihre Dehnungsfähigkeit, sondern auch die zusammendrückende Wirkung äusserer Belastungen. Das Verkürzungsvermögen macht sich aus demselben Grunde in den grösseren Stämmen weniger als in den kleineren Zweigen geltend (§. 490). Werden die blutleeren Pulsadern der Leiche von benachbarten Theilen nicht allzu stark gedrückt, so pflegen sich ihre Wände nicht unmittelbar an einander zu legen, weil der elastische Widerstand die gegenseitige Berührung an allen oder den meisten Punkten hindert. Da die Blutadern feinere elastische Fasern und selbst diese nur in geringerer Menge als die Schlagadern enthalten, dafür aber reichlichere Massen von Bindegewebe führen, so dehnen sie sich auch leichter und stärker aus, so wie sich ihre Füllung vermehrt, setzen einen geringeren Widerstand der Wirkung ihrer Muskelfasern entgegen und platten sich nach ihrer Entleerung vollkommener ab. Es erklärt sich hieraus, wesshalb die Querschnittsformen der Blutadern des lebenden Körpers von der Kreisgestalt (§. 35) häufiger abweichen als die der Schlagadern. Schnürt man den untersten Theil des Oberarmes oder des Oberschenkels zusammen, so schwellen die unterhalb liegenden Hautvenen an[1]), so wie der Eintritt neuen Blutes nicht von Anfang an vollständig aufgehoben worden. Der fühlbare Puls der Schlagadern dagegen verräth keine entsprechende Veränderung. Wir haben §. 551 gesehen, dass viele Wurzeln der Hautvenen aus kleinen Schlagadern oder weiten und einfachen Haargefässen unmittelbar hervorgehen. Das Blut muss daher in sie leichter als in diejenigen Venen, die aus einem reichlichen Haargefässnetze entstanden sind, vordringen. Wenn dessenungeachtet die Hautvenen nicht immer durchschimmern, so rührt dieses davon her, dass sich häufig die Schnelligkeit des Abflusses und die des Eintrittes des Blutes nahezu ausgleichen und daher die Querschnitte der Zwischenröhren nicht wesentlich durch Dehnung zunehmen. Schwellen die Hautvenen in

---

[1]) Abbildungen dieser Verhältnisse mit den richtigen Deutungen der Einzelnheiten finden sich schon bei Harvey a. a. O. p. 126. 127.

der Hitze, durch Hindernisse der Schwere oder andere vor ihnen liegende Widerstände bis zur Sichtbarkeit an, so muss der der Zeiteinheit entsprechende Austritt des Blutes kleiner als der Zufluss sein. Dieses kann vorkommen, die rückwärts liegenden Bahnen mögen sich regelrecht verhalten oder zu grosse oder zu kleine Blutmengen der ungewöhnlichen Nebenbedingungen wegen einführen.

§. 561. Die ungleiche Vertheilung der Massen des Bindegewebes, der elastischen und der Muskelfasern in den Venenwänden bedingt es, dass die stark ausgedehnten Blutadern bauchige Formen häufig annehmen und sogenannte Blutaderknoten (Varices) bilden, wo die Orte des verhältnissmässig geringsten Widerstandes der Wandgewebe die Erweiterung am Meisten erleichtern. Die Gegend unmittelbar über den Klappen liefert in dieser Hinsicht günstigere Stellen, weil hier oft die Venenwände nachgiebiger sind und die überstehende Drucksäule mit einem längeren Hebelarm auf die Seitentheile wirkt, sobald einmal die Querschnittsvergrösserung begonnen hat und sich die Taschen zu keiner Zeit vollständig entleeren. Wie die grössere Längsdehnung der Schlagadern den geschlängelten Verlauf der Aeste des Seitenkreislaufes zur Folge hat (§. 476), so kann sich das Gleiche für die durch Hindernisse der Blutbewegung erweiterten Blutadern wiederholen. Die Dehnbarkeit der Venenwände und die zahlreichen Anastomosen erklären es, wesshalb bisweilen grössere Bezirke ihre Durchgängigkeit verloren haben, ohne dass man es früher als bei der Leichenöffnung bemerkt. Die untere Hohlvene konnte auf diese Weise geschlossen sein, weil die unpaaren Blutadern (V. V. azygos und hemiazygea) und die Venennetze in dem Wirbelcanale und den Rumpfwänden die Verbindung mit dem Systeme der oberen Hohlvene wiederum herstellten [1]).

§. 562. Lässt man die Schläge des Magnetelektromotors durch das Gekröse des Frosches oder eines Säugethieres gehen, so bemerkt man, dass sich die kleineren Blutadern weniger als die Schlagadern von ungefähr gleichem Querschnitte verengern (§. 494). Reizt man dagegen den Brustsympathicus oder das Herzgeflecht eines Pferdes, so bemerkt man in glücklichen Fällen, dass sich die untere Hohlvene sichtlich zusammenzieht, die Aorta dagegen keine merkliche Veränderung liefert [2]). Die Ursache des Unterschiedes liegt wenig-

---

[1]) H. Stannius, Ueber krankhafte Verschliessung grösserer Venenstämme des menschlichen Körpers. Berlin 1839. 8. S. 35 fgg.

[2]) Vgl. De functionibus nervorum. p. 62. 63.

stens zum Theil darin, dass die Wirkung der verkürzungsfähigen Elemente weniger Widerstand in den elastischen Elementen der Blutaderwände antrifft (§. 560). Die Versuche, die GOLTZ[1]) vorzugsweise an Fröschen anstellte, zeigten am Nachdrücklichsten, dass die Zusammenziehung der Blutadern von dem Rückenmarke abhängt. Die Zerstörung desselben macht es daher meistentheils unmöglich, dass die durch anhaltende mechanische Ursachen oder andere Wirkungen erweiterten und daher überfüllten Venen zu ihrer gewöhnlichen Querschnittsgrösse zurückkehren. Die ferneren hydraulischen Folgen solcher Aenderungen lassen sich nach denselben Grundsätzen wie die der Schlagadern beurtheilen (§. 495).

§. 563. Der aus quergestreiften Muskelfasern bestehende Ueberzug, den die Endstücke der Lungenvenen und der beiden Hohlvenen führen, erzeugt ein selbstständiges Klopfen, das nicht selten länger als die Lungenthätigkeit und selbst der Herzschlag in frisch getödteten Säugethieren anhält[2]). Untersucht man es bei geöffnetem Brustkasten, während man die künstliche Athmung einleitet, so findet man, dass die Verengerung der Venenenden mit der der Vorhöfe nahe zusammenfällt oder der Anfang von dieser der von jenen unmittelbar nachfolgt. Die Einrichtung gewährt also den Vortheil, dass der Rücktritt des Blutes aus den Vorkammern in die Blutadern noch nachdrücklicher verhütet wird als durch die blosse Thätigkeit der Ringmuskeln der Venenmündungen (§. 333). Das Blut, das in den klopfenden Endstücken selbst enthalten ist, kann aber zum Theil in die ferneren Abschnitte der Blutadern im Augenblicke der Zusammenziehung ausweichen und so einen rückwärts gerichteten Stoss, also einen Venenpuls, hervorrufen, so weit es nicht die Klappen verhindern. Die untere Hohlvene vermag noch an- und abzuschwellen, wenn sie durch die Zwerchfellverkürzung der tiefen Einathmung nach abwärts gezogen und dann nach HALLER[3]) zusammengedrückt wird.

§. 564. Da die Beschleunigung des Blutlaufes, welche die Zusammenziehung der Kammern erzeugt, schon vor den Haargefässen unmerklich wird (§. 539), so strömt das Venenblut um so eher gleichförmig oder ohne alle sichtliche pulsatorische Bewegung. Ein mit Wasser

---

[1]) GOLTZ in Virchow's Arch. Bd. XXIX. 1864. S. 394—432.

[2]) Vgl. schon ALB. v. HALLER, Opera minora. Tom. I. Lausannae 1763. 4. p. 144—147 und 222. 223.

[3]) HALLER a. a. O. p. 141.

oder einer kohlensauren Natronlösung gefülltes Manometer, das man in den oberen Theil der Drosselvene nach dem Kopfe zu eingeführt hat, zeigt in der Regel keine Pulsschwankungen. Man erkennt sie aber bisweilen unmittelbar an den Gefässwänden, z. B. der Hunde, wenn sich die §. 432 erwähnten Wirkungen bis zu jener Stelle ausdehnen. Ein rasches Abschwellen zur Zeit der Vorhofserschlaffung kann auch bisweilen an der unteren Hohlvene oder anderen Blutaderstämmen bemerkt werden. Die §. 554 erläuterten Einflüsse der tieferen Athembewegungen führen oft zu einem Auf- und Niedergange der mit der Drosselblutader verbundenen Flüssigkeitssäule, der aber natürlich von einem wahren Pulsschlage wesentlich abweicht. Eine stärkere ächte klopfende Bewegung kann in den Venen unter dreierlei Nebenbedingungen ausnahmsweise auftreten: bei der periodischen Wirkung von Muskelfasern, bei Strömungshindernissen und dem Rückwurfe des Blutes in Herzkrankheiten (§. 433).

§. 565. Die Lymphherzen der Reptilien, deren Analogon in der Gegend des Steissbeines der Vögel nach Stannius vorkommt und die wohl auch früher oder später in den Säugethieren und dem Menschen werden gefunden werden, bilden Muskelsäcke, die an Uebergangsstellen von Lymphgefässen in die Blutadern liegen. Ihre periodische Thätigkeit treibt Lymphe in das Venenblut. Dieses empfängt daher eine pulsatorische Beschleunigung, die sich jedoch nicht immer äusserlich bemerklich macht. Die Pfortader der Myxionoiden hat einen Muskelbelag, der herzähnlich thätig ist. Wharton Jones sah zuerst, dass die mikroskopische Untersuchung der Fledermausflügel über die Wirkungen des Verkürzungsvermögens der Blutadern unmittelbar belehren kann. Manche Venen verengern sich hier 7 bis 13 Male in der Minute. Ihr Querdurchmesser nimmt dann um $^1/_6$ bis $^1/_3$ ab. Das Blut geht zu dieser Zeit schneller durch. Es weicht eine Strecke weit während der Erschlaffung zurück und schliesst die Klappen. Eine anhaltende Verengerung, wie man sie an den kleineren Schlagadern häufig sieht (§. 491 fgg.), kommt an diesen Blutadern nicht vor. Galvanische Ströme führen zu dauernden Zusammenziehungen der Arterien und zu beschleunigten Pulsationen der klopfenden Venen. Diese hängen nach Schiff von Bewegungsfasern, die in den Armnerven der Fledermäuse verlaufen, ab. Da die Blutadern des Ohres dieser Thiere solche rhythmische Bewegungen nicht zeigen, so sieht man, dass sie örtlich beschränkte Erscheinungen bilden, die wahrscheinlich nicht bloss in jenen Ge-

schöpfen, sondern auch in anderen Säugethieren und im Menschen an einzelnen Stellen vorkommen werden.

§. 566. Hatte SCHNELLER Belladonnaextract in den Bindehautsack von Albinokaninchen geträufelt und untersuchte er später den Augapfel mittelst eines Augenspiegels, der ein Mikrometer enthielt, so fand er, dass sich die Gefässe, vorzugsweise die Venen der Aderhaut, zuerst verbreiterten, dann verschmälerten und endlich zu ihren regelrechten Querschnitten zurückkehrten. Die Trennung der Augenmuskeln führte zu einer Erweiterung, die in der Folge allmälig abnahm. Opium, äusserer Druck oder Blutentziehungen dagegen erzeugten eine anfängliche Verengerung, der mehrfache Durchmesserschwankungen folgten, ehe sich die gewöhnlichen Grössen wiederum herstellten.

§. 567. COCCIUS, VAN TRIGHT und DONDERS beobachteten eine pulsähnliche Bewegung in den Blutadern der Netzhaut des Menschen, wenn sie das Auge mit dem Augenspiegel untersuchten. Ein oder mehrere Zweige der Centralvene klopfen, während sich die vor und die neben ihnen liegenden Schlagadern ruhig verhalten. Die stärkere Entleerung der Blutadern fällt in die Zeit der Schlagadererweiterung. Sie soll etwas früher als der Puls der Speichenarterie eintreten. Der Augapfel bildet eine durch seinen Inhalt prall gespannte Kugel. Da desshalb die Arterienwände von aussen verhältnissmässig stark belastet werden (§. 447), so muss auch im Allgemeinen ihre Wellenhöhe kleiner ausfallen. Wird aber Blut in diese Gefässe getrieben und geben die Hornhaut und die harte Haut nicht in gleichem Maasse nach, so entweicht eine entsprechende Ersatzmenge aus den Blutadern. Ein äusserer Druck kann ein merkliches An- und Abschwellen derselben zur Folge haben, wenn auch eine solche Veränderung früherhin nicht beobachtet worden. Verstärkt man ihn, so fangen auch die Schlagadern nach DONDERS zu klopfen an. Hört er auf, so füllen sich die Blutadern stärker. Es lässt sich erwarten, dass die pulsähnlichen Schwankungen der Venen bei Augenwassersucht, bei Glaucom und in anderen Leiden, in denen sich die innere Spannung krankhafter Weise erhöht, deutlicher hervortreten.

§. 568. Sind die Drosseladern aus irgend einem Grunde stark angeschwollen, so dass sie als blaue Stränge am Halse hervortreten, so kann sie eine kräftige Pulsation der Halsschlagader vordrängen und so den Schein eines Venenpulses veranlassen. Die mit den Athembewegungen wechselnden Füllungsgrade vermögen

ebenfalls zu täuschen (§. 554). Die Krankheitslehre beschreibt aber auch einen von dem Herzschlage abhängigen Venenpuls, der bei Hemmungen des Lungenblutlaufes und Erweiterung der rechten Kammer oder des rechten Vorhofes aus dieser oder einer anderen Ursache vorkommt[1]). Schliesst die dreizipfelige Klappe nicht, so dass Blut in den Vorhof zurücktritt, so kann dieses auch in die Hohlvenen dringen und die Blutsäule der Drosselvenen stossen, wenn die Klappen schliessen und verrücken, wenn sie unvollständig arbeiten (§. 433). Die Erweiterung muss in diesem Falle mit der der Schlagadern nahezu zusammenfallen. Wird in ähnlicher Weise Blut während der Zusammenziehung des Vorhofes zurückgetrieben, so müsste die Zunahme des Durchmessers der Drosselvene mit dem Pulsschlage der Arterien abwechseln. Dieser Fall setzt aber voraus, dass die Ringmuskeln und die §. 563 erwähnten Muskelfasern des Endes der oberen Hohlvene keinen vollkommenen Schluss mehr herbeiführen können. (Vgl. §. 433.)

§. 569. Es kommt in seltenen Fällen vor, dass die Hautvenen der Hand wie die Schlagadern klopfen. Drückt man sie an einer beschränkten Stelle zusammen, so erhält sich die Erscheinung nur in dem Abschnitte, der nach den Haargefässen sieht. Man hat also hier eine periodisch verstärkte Rückenkraft, die von den Pulsadern aus wirkt. Sind die Arterienwände in hohem Grade verkalkt, so lässt sich die Erscheinung nach den §. 480 entwickelten Grundsätzen um so eher erklären, als die §. 551 erwähnten unmittelbaren Verbindungen die Reibungshindernisse beträchtlich herabsetzen.

§. 570. Die §. 499 erläuterten Bedingungen der Schlagadertöne kehren auch im Wesentlichen für die Venengeräusche wieder. Der gewöhnliche Klappenschluss erzeugt keine hörbare Tönung. Die Erschütterung kann sich aber nach Bamberger[2]) bei starker Unzulänglichkeit der dreizipfeligen Klappe (§. 433) in dem Augenblicke der Kammerzusammenziehung dem Ohre eben so gut als dem tastenden Finger verrathen, wenn eine beträchtliche Blutmenge rasch bis zu den Klappen der Drosselvenen zurückgetrieben wird. Ist eine Ursprungsstelle von diesen verengt, so vermag selbst ein zweites Geräusch neben jenem ersten Tone aufzutreten. Die Blutadern liefern sonst vernehmbare Tonbildungen nur in denjenigen Fällen, in denen ein Hinderniss der Strombahn zu Schwingungen dichterer

---

[1]) Hamernjk in Canstatt's Jahresbericht. 1853. Bd. I. S. 152.

[2]) Bamberger, Würzburger med. Zeitschr. Bd. IV. 1863. S. 234.

Theile Anlass gibt. Wie die Arteriengeräusche stossweise aufzutreten pflegen, weil sich die Geschwindigkeit des Blutstromes mit jeder Zusammenziehung der Kammer verstärkt, so erzeugt der gleichförmigere Blutstrom der Venen ununterbrochenere oder wenigstens nicht regelmässig periodische Tönungen. Die äusseren Drucke, die eine Blutader leichter beengen, führen nicht selten zu Venengeräuschen in dem gesunden Körper. Hört man kein solches in der Drosselblutader eines Erwachsenen, so kann man es nach TH. WEBER erzeugen, wenn man den Kopf nach der entgegengesetzten Seite wendet und daher der Kopfnicker und der Schulterzungenbeinmuskel die Vene beengen. Die vergleichenden Untersuchungen von WINTRICH lehrten, dass das Nonnengeräusch, das vorzugsweise in Bleichsüchtigen vorkommen sollte, in $^3/_5$ bis mehr als $^9/_{10}$ von Männern und Frauen, wenn man das Alter von 70 bis 80 Jahren ausnimmt, gehört wird [1]). Die Frage, welche Rolle dabei die Druckwirkung des Stethoskopes und die Klappen übernehmen, ist noch nicht genauer beantwortet worden. Man darf erwarten, dass der plötzliche Schluss der Venentaschen eine ähnliche und nur viel schwächere Tönung als der der halbmondförmigen Klappen der Schlagadern (§. 383 fgg.) erzeugen kann.

3. Strömung des Venenblutes.

§. 571. Das Vorhofsblut kann nur so lange in die Hohladern oder die Lungenvenen während der Zusammenziehung der Vorkammern zurückweichen, als die eigenen Ringmuskeln der Venenenden (§. 563) und die des Vorhofes (§. 333) die Blutadermündungen nicht geschlossen haben. Da diese Bedingung unter regelrechten Verhältnissen rasch erfüllt wird, so lässt sich annehmen, dass dann keine irgend bedeutende Menge unzweckmässiger Weise zurückkehrt. HALLER [2]) hat schon hervorgehoben, dass sich die Verhältnisse ändern, wenn die zusammengefallenen Lungen eines sterbenden Thieres, dessen Brusthöhle man geöffnet hat, weniger Blut als sonst aufnehmen. Der Widerstand, dem die Zusammenziehung des rechten Herzens auf diese Art begegnet, kann es bedingen, dass Blut

---

[1]) Siehe die Tabelle in Canstatt's Jahresbericht. 1850. Bd. I. S. 98.
[2]) HALLER, De c. h. f. Tom. II. p. 267.

in die Hohladern zurücktritt (§. 348 fgg.). Krankhafte Erweiterungen, in Folge deren die Venenmündungen trotz der Thätigkeit der Ringmuskeln unvollkommen geschlossen werden, führen immer zu einem Rückgange, so wie die peripherischen Widerstände kleiner als die von dem Vorhofe gelieferte Druckkraft ausfallen. Die hierdurch erzeugte An- und Abschwellung der unteren Hohlvene kann den Schein einer Pulsation in der Oberbauchgegend erzeugen (§. 433).

§. 572. Das Blut der Fische strömt im Allgemeinen aus der einfachen Herzkammer in den Arterienstamm und von da durch die Kiemenschlagadern in die Athmungscapillaren der Kiemen. Es tritt aus diesen in die Kiemenvenen, dann in die Aortenwurzeln, die Körperschlagadern und die Haargefässe der Körpertheile und kehrt aus diesen durch die Körperblutadern zurück. Die verhältnissmässig kleine Kammer des Fischherzens treibt also das Blut durch mindestens zwei Systeme von Haarröhren, die Athmungs- und die Körpercapillaren. Die nähere Untersuchung der Einzelverhältnisse lehrt überdies, dass es oft in Folge des Baues der Nebenkiemen, der Choroidealdrüse oder der Leber mehr als zwei Bezirke engster Röhren durchsetzt, ehe es zum Herzen zurückkehrt. Diese Betrachtung lässt unmittelbar schliessen, dass der Durchgang des Blutes durch die Nieren, also durch die arteriellen Knäuel der Malpighi'schen Körperchen und die Haargefässe, welche die gewundenen Harncanälchen umspinnen, und der Pfortaderkreislauf des Menschen und der höheren Thiere auf keine wesentlichen hydraulischen Schwierigkeiten stossen werden.

§. 573. Die Blutadern des Magens, der dünnen und des grössten Theiles der dicken Gedärme, der Bauchspeicheldrüse und der Milz treten zu zwei Hauptstämmen, der Gekrösvene (Vena mesenterica) und der Milzblutader (V. lienalis) zusammen. Diese vereinigen sich aber zur Pfortader (Vena portarum), die noch später die Blutadern der Gallenblase aufnimmt. Sie verzweigt sich hierauf in der Leber in ähnlicher Weise wie eine Schlagader. Die feinsten Aeste der Leberarterie senken sich in die der Pfortader kurz ehe die Haargefässe der Leberkörner aus den zwischen diesen dahingehenden Zweigen (V. V. interlobulares) entstehen. Das Blut tritt dann durch die in der Mitte befindlichen Stämme (V. V. intralobulares) in die Lebervenen und fliesst später in die untere Hohlader. Es muss also zwei Haargefässsysteme, das der genannten Baucheingeweide und das der Leber durchsetzen, ehe es zum Herzen zurückkehrt. Da sich die Haargefässe der Leber weder durch beson-

dere Länge noch durch grosse Schmalheit auszeichnen, so setzen sie auch keine ungewöhnlichen Widerstände dem Durchgange des Blutes entgegen (§. 538 fgg.). Die Nachbarschaft der Brusthöhle gewährt übrigens den Vortheil, dass der Anfang jeder Einathmung den Inhalt der unteren Hohlvene und der Lebervenen nach dem Herzen überzuführen (§. 554) und der Druck der von dem verkürzten Zwerchfelle gedrängten Baucheingeweide die Wurzeln und den Stamm der Pfortader zu entleeren sucht. Ziehen sich die Bauchmuskeln bei der Ausathmung zusammen oder kehren sie auch nur dann vermöge ihrer Elasticität in ihre frühere Stellung zurück, so liefern sie wiederum eine Druckkraft, die den Durchgang des Blutes durch die Leber begünstigt.

§. 574. Obgleich der grösste Theil des Blutes der Unterleibseingeweide den Umweg durch die Leber macht, so hat man doch immer einzelne schmalere oder breitere unmittelbare Verbindungen mit der unteren Hohlader. Die kleinere Gekrösblutader (V. mesenterica minor) vereinigt sich in der Regel mit der Schaambeinblutader (V. pudenda) oder einem anderen Wurzelaste der Hohlvene. Auch höhere Verbindungen kommen nicht selten vor. Da aber diese Zweige keine bedeutenden Querschnitte unter den gewöhnlichen Verhältnissen besitzen und überhaupt nur eine Nebenrolle übernehmen, so folgt, dass keine ungewöhnlichen Schwierigkeiten dem Durchgange grosser Blutmassen durch die Leber entgegentreten. Die übertriebenen Vorstellungen, die man sich in dieser Hinsicht früherhin machte, führten zu der Annahme häufig vorkommender Stockungen im Pfortadersysteme. Eine Ruhe des Blutes in der ganzen Lebermasse würde bald zum Tode führen. Die blosse Verlangsamung des Kreislaufes kommt aber wahrscheinlich seltener, als es die Heilkunde annimmt, vor und erzeugt auch nicht alle Folgen, die man ihr noch gegenwärtig zuschreibt.

§. 575. Die Pfortader hat im Durchschnitt einen 25 Mal so grossen Querschnitt als die Leberarterie. Sollten die gleichen Blutmengen durch beide Gefässe in der Zeiteinheit fliessen, so müsste der Geschwindigkeitsdruck in der ersteren 6 Mm. Quecksilber betragen, wenn er in der zweiten 150 Mm. gleicht (§. 462). Da er aber in der Pfortader beträchtlich grösser ist, so führt diese mehr Blut der Leber zu als die Leberschlagader, deren Strom daher auch durch den der Pfortader nach den Einspritzungsversuchen von Ludwig und Beetz beeinträchtigt wird (§. 521). Der Widerstreit beider hat aber zur Folge, dass die Leber mehr hochrothes Blut auf-

nimmt, so wie die Nebenbedingungen den Eintritt des Pfortaderblutes erschweren.

§. 576. Die Dehnbarkeit der Blutadern dient häufig dazu, grosse Blutbehälter für bestimmte Zeiten herzustellen. Kommen sie dann in einem Körpertheile in reichlicher Menge vor, so gewinnt er hierdurch das Vermögen, sichtlich anzuschwellen. Die Umfangszunahme der Milz zur Verdauungszeit beruht auf einem solchen Vorgange. Die Steifung oder die Erection der Fachgewebe der Ruthe, des Kitzlers, der beiden Scheidenanschwellungen (Bulbi vestibuli) und der kleinen Schaamlefzen entsteht dadurch, dass mehr Blut einströmt als gleichzeitig abfliesst, weil besondere Nebeneinrichtungen den Austritt erschweren und bisweilen auch den Zugang erleichtern. Die gewundenen Schlagadern der oberen Hälfte der cavernösen Körper der Ruthe, deren künstliche Trennung zu der Annahme der im Leben nicht vorhandenen rankenförmigen Schlagadern (Arteriae helicinae) geführt hat, gehen meist plötzlich in die grossen Venenräume trichterförmig und ohne ein dazwischen liegendes Haargefässsystem über. Werden schon hierdurch die Widerstände herabgesetzt, so geschieht dieses ausserdem noch dadurch, dass sich die in den Netzbalken schrauben- oder wellenförmig verlaufenden Schlagadern mit der Umfangszunahme der Fachgewebe gerade strecken. Der grössere Widerstand, auf den ihre Blutsäule stösst, kann schon ein stärkeres Klopfen zur Folge haben und der Einfluss der Nervenerregung dasselbe vergrössern [1]). Hört das Hinderniss des Blutaustrittes aus den venösen Maschenräumen auf, so gesellt sich die elastische Rückwirkung der gespannten Wandungen und vielleicht auch die Zusammenziehung der in den Fachgeweben enthaltenen Muskelfasern zu den sonst vorhandenen Triebkräften. Die Steifung verliert sich daher auch rascher als sie entstanden ist. Man sieht bei Rückenmarkslähmungen oder nach der Trennung der zu der Ruthe gehenden Nerven, dass sich die Fachgewebe nach einer äusseren Reizung, z. B. der Berührung des Gliedes, stärker füllen und hierauf in diesem Zustande lange verharren.

§. 577. Die Sinus der Schädelhöhle können verhältnissmässig weniger Blut aufnehmen als die Maschenräume der Fachgewebe, weil ihre unmittelbaren und mittelbaren Wandbegrenzungen einen grösseren Widerstand leisten und eben so grosse Mengen anderer

[1]) Die Beziehungen der Nerven zur Steifung der Fachgewebe s. Physiologische Pathologie der Nerven. Abth. II. S. 172. 173.

Flüssigkeiten aus der hermetisch geschlossenen und mit unzusammendrückbaren halbfesten Massen gefüllten Schädelhöhle entweichen müssen, als Blut in sie eintritt. Die pathologische Anatomie hat bis jetzt zu wenig berücksichtigt, wie sich in dieser Hinsicht das Gleichgewicht des Blutes der Schlagadern der Venenstämme und der Sinus der Schädelhöhle unter krankhaften Verhältnissen herstellt. Die Füllung der Venengeflechte des Wirbelcanales und der Blutadern der Diploë, so wie der Stämmchen, die in den Havers'schen Knochencanälen dahingehen, stösst auf bedeutende Hindernisse aus ähnlichen Gründen, so wie sie eine gewisse Grenze überschreitet. Die meisten anderen Blutadern dagegen und unter diesen besonders die weiten und die geschlängelten Stämme können beträchtlich grössere Blutmengen zu einzelnen Zeiten aufnehmen und so in beschränktem Maasse bewirken, was die Fachgewebe im Grossen möglich machen.

V. Allgemeine Beziehungen des Kreislaufes.

1. Gesammte Blutmasse.

§. 578. Die Verhältnissmengen der einzelnen Gewebsarten, die einen Körpertheil zusammensetzen, bestimmen es, wie viel Blut er für seine Erhaltung und sein Wachsthum nöthig hat. Die an und für sich gefässlosen Horngewebe (§. 1) brauchen nur so viel als ihre Matrix fordert. Das Blut geht nicht durch die Masse der Krystalllinse oder der Oelkugeln des Fettgewebes, sondern nur durch die Hüllen, die man als Linsenkapsel und als Wandung der Fettzellen bezeichnet. Man hat eine allmälig aufsteigende Reihe des Blutreichthumes von den Sehnen, den Knorpeln, der Hornhaut und dem weichen Bindegewebe bis zu der Leber, den Muskeln, den Nerven und den grauen Massen des Gehirns und des Rückenmarkes. Der Unterschied, den die Rinden- und die Marksubstanz der Knochen in dieser Beziehung darbieten, lehrt am Deutlichsten, wie sehr die erforderliche Blutmenge mit den Einzelverhältnissen eines und desselben Gewebes wechselt. Der histologische Combinationswerth eines Theiles oder die Summe der Producte der Menge jedes einzelnen Gewebes, aus dem er besteht, und des zugehörenden Coëfficienten, der die verhältnissmässige Blutmasse ausdrückt, zeigt an, wie viel Blut ein Organ enthält. Alles Blut eines Geschöpfes besteht also aus der Summe der histologischen Combinationsgrössen desselben. Führt man den Werth auf die Einheit des Körpergewichtes zurück [1]), so verkleinert sich der entsprechende

[1]) Es wäre naturgemässer, nicht die Gewichte, sondern die Volumina zu vergleichen. Nennen wir das Körpergewicht p und die absolute Blutmenge b, so ist die ver-

Bruch, wenn blutgefässlose Gewebe, wie die Hornmassen, oder blutgefässarme, wie das Fett, zunehmen.

§. 579. Während die Verschiedenheit der Gewebmischung die absolute und die verhältnissmässige Menge des Blutes wechseln lässt, liefern die Blutgefässe ein Bedingungsglied, das sich in einem gewissen Grade unverändert in einem und demselben Geschöpfe zu erhalten sucht. Lässt man ein Thier verbluten, so hindert es die Federkraft der Schlagadern (§. 489 fgg.) und die Befestigungsweise der Haargefässe, dass ihr Rauminhalt in gleichem Verhältnisse mit dem Blutverluste abnimmt. Der auf diese Art erzeugte negative Druck (§. 166) lässt daher Lymphe und Ernährungsflüssigkeit eintreten. Das Blut wird verdünnter. Seine absolute und seine Verhältnissmenge nehmen aber jedenfalls weniger ab, als wenn seine Gefässröhren unbedingt nachgeben würden. Dieser Erhaltungsfactor der annähernden Beständigkeit der Blutmenge kann sich natürlich mit dem Baue der Gewebe ändern, so dass Beobachtungen, die man an gesunden, sich verblutenden Menschen oder Thieren anstellt, keinen unbedingten Rückschluss auf kranke Geschöpfe gestatten.

§. 580. Es ergibt sich hieraus, dass man nicht die Blutmenge nach der Masse, die ein bis zum Tode fortgesetzter Aderlass entleert, bestimmen kann. Dreierlei Gründe machen jeden zuverlässigen Schluss unmöglich. Man weiss nicht unmittelbar, welche Flüssigkeitsmengen die §. 579 erwähnte Aufsaugung einführt. Der Werth derselben liesse sich für die austretende Blutmasse bestimmen, wenn man die festen Rückstände einer am Anfange und einer am Ende des Aderlasses entnommenen Blutprobe ermittelte. Wollte man dieses auch für die Zwischenzeiten der Blutentleerung wiederholen, so könnte man zwar über die Abhängigkeit der Aufsaugung von dem Blutverluste Aufschluss erhalten und dieses für fernere Berechnungen verwerthen. Allein die uns hier beschäftigende Hauptfrage würde

---

hältnissmässige $q = \frac{b}{p}$. Wollte man die auf das verhältnissmässige Volumen q' zurückführen, so müsste man $\frac{b}{s}$ statt b und $\frac{p}{s'}$ statt p setzen, wenn s die Eigenschwere des Blutes und s' die des Körpers des Geschöpfes ist. Man hat also: $q' = \frac{s'}{s}\, q$. Da die mittlere Eigenschwere des Menschen zu 1,06 und die des Blutes zu 1,05 angenommen werden kann, so wird $\frac{s'}{s}$ fast genau der Einheit gleich.

durch alle solche Bestimmungen nicht erledigt, weil das Mikroskop lehrt, dass die Haargefässe vieler Organe der verbluteten Thiere mit bedeutenden und wechselnden Blutmengen gefüllt bleiben. Der Eintritt des Todes hängt nicht von einem unveränderlichen Verhältnisse der verlorenen Blutmasse zum Körpergewichte ab, da hier nicht die Grösse des Blutverlustes, sondern die Frage, wie lange das verlängerte Mark den lähmenden Einflüssen widersteht, entscheidend eingreift. VEIT, VOLKMANN und MARCHAND[1]) fanden, dass ein Hund von 6,2 Kilogr. Körpergewicht 982 Grm. oder $^1/_{6,3}$ seiner Schwere vor dem Tode verlor und HEIDENHAIN[2]) erhielt in dieser Hinsicht $^1/_{20}$ bis $^1/_{39}$ für Hunde und $^1/_{25}$ bis $^1/_{36}$ für Kaninchen. MOULIN[3]), der zuerst (1687) die Blutmenge auf diese Weise zu ermitteln suchte, kam auf $^1/_{20}$ des Körpergewichtes. Man sieht hieraus, dass man die bedeutendsten Schwankungen in einer und derselben Thierart antrifft[4]).

§. 581. Der Versuch, die Gefässe eines Leichnames vollständig auszuspritzen und die Blutmenge aus dem absoluten Gewichte der gebrauchten Masse und dem Verhältnisse der Eigenschwere derselben zu der des Blutes zu berechnen, ruht auf keiner sicheren Grundlage. Man weiss nicht, um wie viel die künstliche Füllung der Röhren den Rauminhalt der Blutgefässe vergrössert hat und welche Summe von Haargefässen nicht eingespritzt worden. Wem es aber glückte, den grössten Theil derselben in einem Kinde oder einem Kaninchen zu füllen, der wird sich schwer entschliessen, Blutmengen von $^1/_{20}$ bis $^1/_{12}$ des Körpergewichtes als die wahren Werthe der Gesammtsumme des Blutes anzuerkennen.

§. 582. Ich suchte mittelbar zum Ziele zu kommen, indem ich eine erste Blutprobe der Drosselvene entnahm, um den festen Rückstand derselben zu bestimmen, dann eine ihrem Gewichte nach bekannte Wassermenge in jene Blutader in der Richtung nach dem Herzen zu spritzte und endlich den festen Rückstand einer zweiten Probe des auf diese Weise verdünnten Blutes ermittelte. Man kann die absolute Blutmenge aus diesen Werthen berechnen und die ver-

---

1) VEIT in Canstatt's Jahresbericht. 1850. Bd. I. S. 99. 100.

2) R. P. H. HEIDENHAIN, Disquisitiones criticae et experimentales de sanguinis quantitate in mammalium corpore exstantis. Halis 1857. 4. p. 4.

3) MOULIN bei K. SPRENGEL, Versuch einer pragmatischen Geschichte der Arzneikunde. Zweite Aufl. Th. IV. Halle 1801. 8. S. 75.

4) Aeltere Angaben über Blutverluste und Blutmengen finden sich bei HALLER, De p. c. h. f. Tom. III. p. 1—10.

hältnissmässige durch die Theilung derselben mit dem Körpergewichte finden [1]). Ich erhielt auf diese Weise $^1/_{4,1}$ bis $^1/_{4,9}$ des Körpergewichtes für Hunde, $^1/_{5,5}$ bis $^1/_{6,1}$ für Katzen, $^1/_5$ für ein Schaaf und $^1/_{6,2}$ bis $^1/_{6,3}$ für Kaninchen, also im Ganzen ungefähr $^1/_5$. VEIT [2]), VOLKMANN und MARCHAND kamen auf $^1/_{4,34}$ bis $^1/_{5,48}$ für den Hund und auf $^1/_{6,09}$ für die Ziege nach den Versuchen, die sie für die sichersten hielten. Die Einspritzung einer Lösung von

[1]) Wurden m Grammen Blut mit dem ersten Aderlasse entzogen, so dass noch x — m Grm. im Körper zurückblieben, wenn x die gesuchte absolute Blutmenge bezeichnet und lieferten jene m Grm. $n\left(1 \pm \frac{1}{\alpha}\right)$ Grm. festen Rückstandes, wobei $\pm \frac{n}{\alpha}$ dem Werthe der Beobachtungsfehler entspricht, so hat man für den festen Rückstand f der Blutmasse $x - m$, die sich im Augenblicke der Wassereinspritzung im Körper befindet, das Verhältniss $m : n\left(1 \pm \frac{1}{\alpha}\right) = x - m : f$. Führt man w Wasser ein, ist von diesem $\frac{w}{\beta}$ durch die Perspiration, den Harn, den Austritt in die Gewebe oder sonst verloren gegangen, ehe man die zweite Blutprobe entnimmt und geben p Grm. von dieser $q\left(1 \pm \frac{1}{\gamma}\right)$ festen Rückstandes mit $\pm \frac{q}{\gamma}$ Irrungsgrössen, so hat man für die dichten Stoffe f' der nun vorhanden gewesenen Blutmasse das Verhältniss $p : q\left(1 \pm \frac{1}{\gamma}\right) = x - m + w\left(1 - \frac{1}{\beta}\right) : f'$. Ist die Summe der festen Bestandtheile trotz der Wassereinspritzung unverändert geblieben, so dass $f = f'$, so ergibt sich:

$$(x - m)\frac{n}{m}\left(1 \pm \frac{1}{\alpha}\right) = (x - m)\frac{q}{p}\left(1 \pm \frac{1}{\gamma}\right) + w\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)\frac{q}{p}\left(1 \pm \frac{1}{\gamma}\right).$$

Also

$$x = m + \frac{w\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)}{\frac{n}{m}\frac{p}{q}\frac{\left(1 \pm \frac{1}{\alpha}\right)}{\left(1 \pm \frac{1}{\gamma}\right)} - 1}. \qquad (82)$$

Hält man sich für berechtigt, $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\beta} = \frac{1}{\gamma} = 0$ zu setzen, so findet man einfacher:

$$x = m + \frac{w}{\frac{n}{m}\frac{p}{q} - 1} \qquad (83)$$

Die Gleichung (83) lässt sich umformen, wenn man die Procentgehalte des festen Rückstandes der beiden Blutproben y' und y'' einführt. Da man dann $m : n = 100 : y'$ und $p : q = 100 : y''$ hat, so erhält man statt (83)

$$x = m + \frac{w}{\frac{y'}{y''} - 1}. \qquad (84)$$

[2]) CANSTATT's Jahresbericht. 1850. S. 98—100.

schwefelsaurem Natron und die nachherige Bestimmung der Schwefelsäure führte zu keinen zuverlässigen Ergebnissen, weil das Salz in den Harn rasch überging. BLAKE[1]), der eine Lösung von schwefelsaurer Thonerde in das Blut eines Hundes trieb, fand dabei eine Blutmenge von $^1/_8$ bis $^1/_9$ des Körpergewichtes.

§. 583. Man hat gerechte und unbegründete Einwände gegen dieses Verfahren erhoben. Die Behauptung, dass schon der erste Aderlass eine Aufsaugung von Flüssigkeiten zur Folge hat, liess unbeachtet, dass man nur so wenig Blut zu entziehen braucht, als zur Bestimmung des festen Rückstandes nöthig ist. Die Annahme, dass sich das Wasser mit dem Blute nicht gleichförmig mische, bewährt sich nicht bei der Schnelligkeit des Kreislaufes (§. 601). Die erste Blutprobe eines Kaninchens gab mir z. B. 17,5% festen Rückstandes. Hatte ich aber 42 Grm. Wasser unmittelbar darauf eingespritzt, so enthielt das Blut der Drosselvene 6 Minuten später 13,3 und das der grossen Schenkelgefässe 13,55 % festen Rückstandes[2]). Der oft wiederholte Satz, dass bedeutende Wassermengen in den Harn und in das Bindegewebe der einzelnen Körpertheile austreten, ist nur dann richtig, wenn man zu grosse Flüssigkeitsmassen gebraucht hat[3]), nicht aber, wenn diese die Blutspannung nicht übermässig erhöhen[4]). Man darf auch nicht glauben, dass ein solcher Uebelstand die gefundene Blutmenge immer vergrösserte[5]). Salze oder andere dichte Stoffe werden nur dann aus dem Blute treten, wenn zu viel Wasser eingeführt worden. Man könnte allen diesen Gefahren entgehen, wenn man einen Körper, der nicht durchschwitzt und sich schon in kleinen Mengen im Blute nachweisen lässt, einführte, z. B. gallertige Kieselsäure oder schwefelsauren Baryt. Auch die Einspritzung von Blut mit nicht zu grossen länglichrunden Blutkörperchen und zahlreiche Zählungen, wie viel von ihnen auf eine bestimmte Summe der runden des Säugethieres kommen (§. 227), würden vielleicht zum Ziele führen.

---

[1]) L. GMELIN's Handbuch der Chemie. Bd. VIII. Bearbeitet von C. G. LEHMANN und ROCHLEDER. Heidelberg 1858. S. S. 211.

[2]) CANSTATT's Jahresbericht. 1844. Bd. I. Erlangen 1845. 4. S. 169. 170.

[3]) Schon HALES (a. a. O. p. 94) wusste dieses aus eigenen Erfahrungen, bei denen er auch zuerst entdeckte, dass die Einführung grösserer Mengen warmen Wassers in das Blut von Hunden die Theile auswasche, Erbrechen, Oedem und Krämpfe erzeuge und endlich tödte.

[4]) Vgl. auch LUDWIG und KIERULF in Canstatt's Jahresbericht. 1852. Bd. I. S. 158.

[5]) Folgt aus Gleichung (82).

§. 584. Ed. Weber und Lehmann verglichen das Körpergewicht eines Delinquenten vor und nach der Hinrichtung. Jenes betrug 60,14 und dieses 54,60 Kilogr. Sie setzten daher voraus, dass 5,54 Kilogr. Blut in Folge der Enthauptung ausgetreten war. Sie trieben hierauf Wasser durch die Blutgefässe, bis es nur mit gelblicher Farbe ablief. Betrachteten sie den festen Rückstand desselben als den von ausgewaschenem Blute, so gab dieses noch 1,98 Kilogr. Sie nahmen daher 7,52 Kilogr. oder $^1/_8$ des Körpergewichtes für die absolute Blutmenge an. Hering änderte das Verfahren in Säugethieren dahin ab, dass er die Körpertheile nach dem Verbluten zerstückelte und das zurückgehaltene Blut durch Klopfen und Wasserausziehen zu gewinnen suchte. Er fand auf diese Weise ungefähr $^1/_9$ des Körpergewichtes.

§. 585. Welcker, dessen Verfahren später auch Bischoff, Heidenhain[1]) und Panum[2]) befolgten, bestimmte das bei dem Verblutungstode ausfliessende Blut, trieb dann Wasser durch das Gefässsystem und zog noch die zerstückelten Organe aus. Er verglich die Farbe der erhaltenen Mischung mit der einer Blutverdünnung von bekannter Dichtigkeit. Obgleich die während des Blutverlustes stattfindende Aufsaugung und der Uebergang des Farbestoffes der rothen Muskeln (§. 312) in die später bereiteten Flüssigkeiten eher zu viel als zu wenig Blut geben sollten, so erhielten doch Bischoff und Welcker nur $^1/_{13,1}$ des Körpergewichtes für den erwachsenen Menschen, Welcker $^1/_{19}$ für den Neugeborenen, Heidenhain $^1/_{12}$ bis $^1/_{18}$ für den Hund und $^1/_{15}$ bis $^1/_{20}$ für das Kaninchen, und Panum[3]) $^1/_{12,7}$ bis $^1/_{11,1}$ für Hunde. Vierordt[4]) nimmt nach seinen und Hering's über die Blutgeschwindigkeiten angestellten Untersuchungen an, dass der Mensch $^1/_{12,6}$, der Hund, der Ziegenbock und das Kaninchen $^1/_{13,2}$ bis $^1/_{13,7}$ und das Pferd $^1/_{11,2}$ bis $^1/_{16,7}$ seines Körpergewichtes Blut führt.

§. 586. Heidenhain, Panum und ich fanden trotz unserer verschiedenen Untersuchungsarten in übereinstimmender Weise, dass ein verhungerter, ein durch Wassererguss gelähmter Hund und ein in hohem Grade abgemagertes Schaaf nicht nur keine wesentlich

[1]) Siehe das Nähere bei Heidenhain a. a. O. p. 11—20.

[2]) L. Panum, Experimentelle Untersuchungen zur Physiologie und Pathologie der Embolie, Transfusion und Blutmenge. Berlin 1864. 8. S. 241. 246.

[3]) Siehe die Tabellen in Canstatt's Jahresbericht. 1858. Bd. I. S. 79. 80 und Panum a. a. O. Tabelle zu S. 246.

[4]) Vierordt, Stromgeschwindigkeiten. S. 128.

kleinere, sondern nahezu die regelrechte, ja möglicher Weise eine etwas zu grosse verhältnissmässige Blutmenge enthielten [1]). Die §. 578 fgg. erläuterten Verhältnisse lassen schliessen, dass eine mathematisch genaue Beständigkeit dieses Werthes nicht auftreten kann. Es erklärt sich auch aus ihnen, wesshalb z. B. PANUM [2]) eine etwas kleinere Verhältnisszahl für gut genährte und dadurch fett gewordene, als für abgemagerte junge Thiere gefunden hat. Wie aber die Physiologie den Gedanken aufgeben musste, dass das Verhungern die Blutmenge ausserordentlich herabsetzt, so wird auch die praktische Heilkunde genöthigt sein, das, was sie bis jetzt als Blutleere oder Anämie bezeichnete, von einem anderen Gesichtspunkte aufzufassen.

§. 587. Magert z. B. ein Mensch oder ein Thier ab, so schwinden vorzugsweise zwei Gewebe, das Fett und die Muskeln. Der Verlust des Fettes wird die verhältnissmässige Blutmenge nach dem §. 578 Dargestellten erhöhen und nicht erniedrigen, weil der ölige Inhalt der Fettzellen eine blutgefässlose Masse bildet. Man hat daher einen Ausgleichungswerth für den durch den Abgang an Muskelfasern erzeugten Unterschied. Ein Wassersüchtiger besitzt eine kleinere verhältnissmässige Blutmasse, weil die Ergüsse in seinen serösen Höhlen oder in seinem Bindegewebe das Körpergewicht vergrössern, ohne für die Menge des Blutes in Betracht zu kommen. Wollte man daher diese krankhaften Ausschwitzungen eben so gut wie den Darminhalt in Rechnung bringen, so wird sich eine etwas kleinere relative Blutmenge als im Gesunden finden, wenn nicht die stark gefüllten Saugadern mehr Lymphe zuführen. Man kann nicht einmal mit Bestimmtheit behaupten, dass ein Lungenschwindsüchtiger blutarm sei. Es bleibt denkbar, dass sich der Verlust an Lungenmasse zu dem des in ihr sonst enthaltenen Blutes eben so verhält wie das Körpergewicht des Gesunden zu der ihm zugehörigen Blutmenge [3]). Ist ein Theil verhärtet und desshalb für das Blut unwegsam geworden, so muss die verhältnissmässige Blutmenge kleiner ausfallen, weil das Gewicht des kranken Organes das des

---

[1]) Es versteht sich von selbst, dass man das Körpergewicht ohne den Darminhalt und, so sehr als möglich, ohne die Horngewebe zum Grunde legen sollte.

[2]) PANUM a. a. O. S. 285. 286.

[3]) Nennt man überhaupt p das Körpergewicht des Gesunden, $p \pm a$ das des Kranken, n die Blutmenge des ersten und $n \pm b$ die des zweiten, so kann man $\frac{p}{n} \lesseqgtr \frac{p \pm a}{n \pm b}$, also auch $\frac{p}{n} \lesseqgtr \frac{a}{b}$ haben.

Körpers vergrössert, für das Blut dagegen nicht zählt. Die relative Blutmenge wird in merklichem Grade wechseln, wenn sich die regelrechten Gewebe in ausgedehnterem Maasse ändern und sie desshalb einen wesentlich verschiedenen Combinationswerth (§. 578) erhalten, also z. B. bei weit verbreiteter Fettentartung der Muskeln oder wenn sich umfangreiche Neubildungen mit ungewöhnlichen Combinationswerthen (§. 578) entwickelt haben. Man kann sich auch vorstellen, dass eine krankhafte Beschaffenheit der Gefässwände in so ausgedehntem Maasse durchgreift, dass sich desshalb die Gesammtcapacität des Gefässsystemes merklich ändert.

§. 588. Die praktische Heilkunde sollte die Worte Blutverdünnung, Blutblässe oder Chlorämie statt der Ausdrücke Blutleere und Anämie gebrauchen, da der Name Leukämie schon für einen anderen Zustand in Anspruch genommen worden (§. 233). Was sie Blutleere nennt, ist nicht ein Mangel an Flüssigkeit, sondern an regelrechten Bestandtheilen, vorzugsweise an Blutkörperchen, dessen Folge die blassere gelbliche oder grüngelbliche Färbung bildet. Es ergibt sich ferner, dass manche andere Vorstellungen der praktischen Heilkunde ebenfalls unbegründet sind. Mildert z. B. ein Aderlass das heftige Herzklopfen eines an Klappenfehlern leidenden Menschen, so liegt die Ursache nicht in der angeblichen Abnahme der Blutmenge, sondern in den Athmungsveränderungen, indem die Zahl der Blutkörperchen geringer und der Blutlauf durch die Lungen freier geworden.

2. Durchgangsmengen des Blutes.

§. 589. WEITBRECHT (§. 496) hat schon ausgesprochen[1]), dass die gleichen Blutmengen alle vier Herzhöhlen bei regelmässigem Kreislaufe durchsetzen. Soll kein Missverhältniss entstehen, so muss dieselbe Menge, welche die Zusammenziehung der rechten Kammer in die Lungenschlagader treibt, in den linken und die, welche die Verkürzung des linken Ventrikels in die Aorta presst, in den rechten Vorhof gleichzeitig abfliessen. Dieser Satz der Gleichwerthigkeit der Herzfüllung gilt jedoch nicht in mathematisch

---

[1]) LOWER schrieb zuerst dieselbe Capacität den beiden Kammern zu. Siehe HALLER, De c. h. f. Tom. II. p. 132.

strengem Sinne. Er setzt voraus, dass das Blut keine Volumensänderung auf den Zwischenwegen erleidet. Geschieht dieses in den Lungen, weil hier Wasser abdunstet und die anderen Athmungsveränderungen eingreifen, so kann auch um so viel weniger oder mehr Blut, als der Unterschied ausmacht, in den linken Vorhof übertreten. Dasselbe wiederholt sich für die rechte Vorkammer, wenn man die Aenderungen, denen das Blut in dem Körperkreislaufe unterworfen ist, und die hinzutretende Lymphe in Betracht zieht. Bedenkt man aber, dass alle diese Wechselerscheinungen nur unbedeutende Grössen während der Dauer eines Herzschlages erreichen, so ergibt sich, dass desshalb die Gleichwerthigkeit der Herzfüllung keine merkliche Aenderung erfährt.

§. 590. Krankheitszustände können hier in wesentlicher Weise störend eingreifen, ohne dass desshalb der Tod binnen Kurzem nachfolgt. Denken wir uns, ein grösserer Lungenbezirk eines Schwindsüchtigen sei nicht mehr für den Blutlauf vorhanden, so wird die rechte Kammer eine geringere Blutmenge austreiben und die linke weniger empfangen. Die Gleichwerthigkeit braucht desshalb noch nicht aufzuhören, sondern nur die Geschwindigkeit des Umtriebes des Blutes abzunehmen. Da sich aber verhältnissmässig mehr Blut in dem Körperkreislaufe anhäuft, so kann es sich auch ereignen, dass die ihm zu Gebote stehenden Druckkräfte eine grössere Menge, als in die Lungen abfliessen kann, in das rechte Herz treiben, dieses erweitern und zu wesentlichen Störungen der Mechanik desselben führen. Die Ueberfüllung der Körpergefässe führt dann wassersüchtige Ausschwitzungen um so eher herbei, als die durch den Lungenverlust bedingte geringere Erfrischung des Blutes die regelrechte Beschaffenheit desselben ändert. Die Absetzung eines grösseren Gliedes oder ausgedehnte Stockungen im Körperkreislaufe können umgekehrt eine Ueberfüllung der Lungen und deren schädliche Folgewirkungen nach sich ziehen.

§. 591. Untersucht man den Rauminhalt der Herzhöhlen nach dem Tode, so stösst man auf Verhältnisse, die der Gleichwerthigkeit der Herzfüllung in hohem Grade widersprechen. Die rechte Kammer und das rechte Herz überhaupt sind dann meistentheils geräumiger als das linke. Der rechte Ventrikel eines 40jährigen Mannes, der sich erhenkt hatte, gab z. B. 350 und der linke nur 181 Cubikcentimeter als Werth der Höhlungsgrösse. Die Ursache des Missverhältnisses liegt darin, dass die stärkere Muskelmasse der linken Herzhälfte eine beträchtlichere elastische Verkürzung und eine aus-

giebigere Todtenstarre erzeugt. Da überdies die rechte Herzhälfte ihre Reizbarkeit länger zu bewahren pflegt als die linke, so wird sie auch in der Regel mehr durch Blut ausgedehnt. Man findet gewöhnlich, dass die Kammer einen grösseren Hohlraum trotz ihrer stärkeren Muskelmasse frei lässt als der Vorhof, wenn sie sich weniger als dieser nach dem Tode entleeren kann [1]). Es ergaben sich z. B. 21 C. C. für das Herzohr und 149 C. C. für den Sinus, also im Ganzen 170 C. C., während die rechte Kammer einen Rauminhalt von 180 C. C. unter den gleichen Verhältnissen in dem oben erwähnten Selbstmörder darbot. Das linke Herz desselben aber führte zu einer Ausnahme von jener Regel. Der linke Vorhof lieferte im Ganzen 96 und die linke Kammer 85 C. C., mithin weniger als jener.

§. 592. Man erhält die verschiedensten Werthe des Rauminhaltes der Herzhöhlen, je nachdem sich die Wände derselben mehr oder minder in Folge des Untersuchungsverfahrens dehnen. Dasselbe rechte Herzohr, dessen Höhlung durchschnittlich 21 C. C. bei seiner Anfüllung mit Wasser gab, lieferte 31 C. C. bei der mit Quecksilber. Das linke hatte 9 und 19 C. C. in den beiden Fällen. Die rechte Kammer eines 33jährigen Erhängten fasste 38 C. C. Wasser und 68 C. C. Quecksilber. Die linke nahm nur 17 und 18 C. C. auf. Dieses lehrt zugleich, dass die Wanddicke einen wesentlichen Einfluss neben dem einwirkenden Drucke ausübt. Es unterliegt übrigens keinem Zweifel, dass derselbe Herztheil zu verschiedenen Zahlen führen wird, je nachdem man die Versuche kürzere oder längere Zeit nach dem Tode anstellt. Die Einspritzung mit erstarrenden Massen selbst unter bekanntem Drucke kann daher ebenfalls keine zuverlässigen Ergebnisse liefern. Man sieht zugleich, dass die Schlüsse, die man aus den bei den Leichenöffnungen vorgefundenen Grössen der Hohlräume des Herzens zieht, häufig genug zu Irrthümern führen (§. 424 fgg.).

§. 593. Die absoluten Grössen der Herzhöhlen wechseln unzweifelhaft mit den Ernährungszuständen. Es genügt daher nicht, deren Werthe ohne Weiteres anzugeben. Schon der blosse Anblick lehrt, dass sie sich keineswegs in gleichem Verhältnisse des Körpervolumens ändern. Man sollte sie aber wenigstens auf dieses vorläufig zurückführen, um eine ungefähre Auffassung möglich zu machen. Nimmt man z. B. das Körpergewicht des Erwachsenen zu

---

[1]) Vgl. auch Hiffelsheim und Robin, Journal d'Anatomie et de Physiologie. Tome I. 1864. p. 413—429.

65 Kilogr., seine Eigenschwere zu 1,06, also das Volumen zu 61321 Cubikcentimetern und den Rauminhalt der vier Herzhöhlen im Leben zu 828 C. C. an, so würde dieses $^1/_{74}$ bis $^1/_{75}$ des Körpervolumens betragen.

§. 594. Harvey[1]) fand zwei Unzen, also beinahe 45 C. C. für den Rauminhalt der linken Kammer der Leiche. Die Angaben der späteren Schriftsteller schwanken zwischen 20 und 207 C. C. für den erwachsenen Menschen[2]). Jeder angenommene Werth hat in dieser Hinsicht etwas Willkürliches. Halten wir uns aber auch an den grössten, nämlich an 207 C. C., so führt er immer noch zu einer Folgerung, die sich für kleinere Zahlen nur um so mehr bestätigt. Man kann 5 Quadratcentimeter als ungefähre Durchschnittsgrösse des Querschnittes der Lungenschlagader oder der Aorta des Erwachsenen annehmen. Soll ein Kreiscylinder von dieser Grundfläche einen Rauminhalt von 207 C. C. haben, so muss er eine Höhe von 41,4 Centimeter besitzen. Da nun der Gesammtquerschnitt der Schlagadern mit den Verzweigungen zunimmt und diese sich überdies während der Kammerverkürzung erweitern, so folgt, dass sich die ausgepresste Blutsäule jedenfalls um weniger als 41,4 Centimeter verschiebt. Man hat hier keinen Widerspruch gegen die Behauptung (§. 445), dass sich die Pulswelle bis über die Speichenschlagader hinaus während der Zusammenziehung der Kammer verbreitet, weil dieses von der blossen Verrückung der Blutmassen abhängt, das aber, was wir hier betrachten, der Verdrängung derselben entspricht.

§. 595. Das Blut, das jede Kammerverkürzung ausgiesst, die Zahl der in der Zeiteinheit auftretenden Herzschläge und die gesammte Blutmenge bestimmen die Zeit, innerhalb welcher diese einen Kreislauf vollenden kann und ihn auch vollendet, wenn sich alle Einzelsäulen in einer der Triebkraft des Herzens entsprechenden Grösse und Richtung ununterbrochen verschieben[3]). Ist die

---

[1]) Harvey a. a. O. p. 87.

[2]) Haller, De p. c. h. f. Tom. II. p. 132—135. Mein Lehrbuch der Physiologie. Zweite Aufl. Bd. I. S. 501. 502. Volkmann, Haemodynamik. S. 182. Vierordt, Stromgeschwindigkeiten. S. 32 und 104. Hiffelsheim et Ch. Robin, Journ. d'Anat. et de Physiol. Vol. I. 1864. p. 413—420.

[3]) Nennt man q die gesammte Menge des Blutes des Körpers, b diejenige, die mit jeder Kammerverkürzung in die Lungenschlagader oder in die Aorta ausgegossen wird, t die Zeit, die jeder Herzschlag in Anspruch nimmt, die also von dem Anfange einer

Gesammtbahn durch die Lungen kürzer als die durch den Körperkreislauf, so durchsetzt auch das Blut die Athmungswerkzeuge mit einer grösseren durchschnittlichen Geschwindigkeit als die mittlere Masse der Körpertheile, weil die beiden Kammern nahezu dieselben Mengen in die Schlagadern pressen und die Vorhöfe ungefähr gleich viel aus den Blutadern aufnehmen. Wir haben §. 344 gesehen, dass das rechte Herz weniger Muskelmasse führt, weil der Widerstand in dem Lungenkreislaufe geringer als in dem Körperkreislaufe ist. Dieser hängt aber auch unter Anderem von der Länge des Weges ab (§. 175 fgg.). Die schwächere Druckkraft der rechten Kammer erzeugt eine geringere Spannung in der Lungenschlagader, obgleich sie in diese eben so viel Blut als die linke in die Aorta treibt, weil weniger Hindernisse dem Vorrücken entgegenstehen, das neue Blut also die vorliegenden Blutsäulen weiter verschiebt und daher die Anfangstheile der Schlagadern weniger überfüllt werden. Aehnliche Beziehungen können sich auch in einzelnen Bezirken des Körperkreislaufes wiederholen, wenn die Nebeneinflüsse die Blutbewegung in dem einen Theile langsamer und daher in anderen schneller machen (§. 475 fgg.).

3. Dauer eines Kreislaufes.

§. 596. HERING hat ein Verfahren ersonnen und durchgeführt, das die ersten befriedigenderen Vorstellungen über die kleinste Zeit der Kreislaufsdauer begründete. Er setzte eine mit einem Hahne versehene Knieröhre, die oben in einen Trichter überging, in die Drosselblutader eines Pferdes in der Richtung nach dem Herzen zu ein. Das Ganze war so angeordnet, dass eine vorher eingegossene Lösung von Eisenkaliumcyanür in das Blut trat, so wie man den Hahn lüftete. Man machte gleichzeitig einen Aderlass aus einem zweiten Blutgefässe. Ein Gehülfe bemerkte an der Secundenuhr, wann der Hahn geöffnet wurde und fing den Blutstrahl, der aus dem zweiten Gefässe trat, von je fünf zu fünf Secunden in einem anderen Gefässe auf. Die erste Serumprobe des am folgenden Tage

---

Kammerzusammenziehung bis zum Beginne der nächsten reicht und d die Dauer eines vollen Kreislaufes, so hat man: b:q = t:d, also

$$d = t\,\frac{q}{b} \tag{85}$$

untersuchten geronnenen Blutes, die eine grünliche Färbung nach einem Zusatze von Eisenchlorid verrieth[1]), bestimmte die Minimalzeit, in der das Blut aus der Drosselvene bis zu dem zweiten Gefässe gelangt war. HERING fand z. B. 10 bis 15 Secunden für die äussere Kieferschlagader, 20 bis 30 und ein Mal mehr als 40 Secunden für die Mittelfussarterie, 20 Secunden für die grosse Schenkelhautblutader und 20 bis 30 Secunden für die zweite äussere Drosselvene. Das Blutlaugensalz musste in dieser Zeit den Weg von der Einführungsstelle, also der Drosselblutader bis zu dem rechten Herzen, den Lungenkreislauf, das linke Herz und den Theil des Körperkreislaufes, der zwischen dem Anfangstheile der Aorta und dem Orte des Aderlasses lag, durchlaufen haben.

§. 597. Wählt man z. B. die beiden Drosselblutadern, so kann man sich unmittelbar überzeugen, dass das Eisenkaliumcyanür nicht durch die Wände der einen Vene exosmotisch austritt und sich durch Diffusion bis in das Blut der anderen in weniger als einer halben Minute verbreitet. Die Entfernung der Schenkelhautblutader lässt das Gleiche ohne Weiteres erwarten. Es wäre zwar denkbar, dass eine gewisse Menge des in das rechte Herz gelangten Blutlaugensalzes in das linke durch die Scheidewand unmittelbar übertritt und so den Lungenkreislauf umgeht. Der grössere Druck, den die stärkere Musculatur der linken Vorkammer oder Kammer erzeugt, wird aber jedenfalls das Vordringen in dieser Richtung beschränken, wo nicht hemmen. Die osmotische Verbreitung (§. 100) der Lösung des Eisenkaliumcyanürs im Blute kann die Zeiten etwas zu klein erscheinen lassen. Bedenkt man übrigens, dass Serum, das $^1/_{10000}$ Eisenkaliumcyanür enthält, eine stärkere grünblaue Färbung gibt, als für die erste sichere Anzeige nöthig ist, so folgt, dass das Verfahren die Zeit anzeigt, nach welcher die erste Spur der eingeführten Verbindung an dem entfernten Orte anlangt, also nicht die vollständige Kreislaufsdauer, sondern das Minimum derselben. Die Beschleunigung der Blutbewegung, die der Aderlass vermöge des geringeren Widerstandes erzeugt, führt keinen merklichen Zeitfehler ein.

§. 598. POISEUILLE[2]) bemerkte, dass eine Lösung von

---

[1]) Abbildungen der allmäligen Farbenänderungen und der Färbung von Serum, das $^1/_{8000}$ Blutlaugensalz enthielt, finden sich in m. Grundriss der Physiologie. 4. Auflage. Taf. I. Fig. XVI.

[2]) POISEUILLE, Annales des sciences naturelles. Seconde Série. Tome XIX. Paris 1843. 8. p. 26—30.

Kalisalpeter oder von essigsaurem Ammoniak durch Haarröhren von Glas schneller, Weingeist und Blutserum dagegen langsamer als Wasser strömen (§. 179). Hatte er die Gefässe der Nieren oder der Hinterbeine von Hunden mit durchgetriebenem Serum von Blut möglichst gereinigt und spritzte dann jene Lösungen unter einem Drucke von 135 Mm. Quecksilber ein, so wiederholte sich die gleiche Verlangsamung oder Beschleunigung. Er stellte daher auch die Versuche in lebenden Pferden nach dem Hering'schen Verfahren an und glaubte hier dieselben Ergebnisse erhalten zu haben. Der Uebergang aus einer Drosselblutader in die andere forderte 25 bis 30 Secunden, wenn eine wässrige Lösung von Blutlaugensalz eingespritzt worden und nur 18 bis 24 Secunden am folgenden Tage, als man dieselbe Blutlaugensalzlösung mit einer Lösung von essigsaurem Ammoniak vermischt hatte. Ein Zusatz von Salpeter forderte 20 bis 25 und ein solcher von Weingeist 40 bis 45 Secunden. Nimmt man auch diese Werthe als sicher an, so bleibt es natürlich dahingestellt, ob die Unterschiede nur von den Verschiedenheiten der Gleitungscoëfficienten oder auch von dem Einflusse auf die Herzbewegungen und die verkürzungsfähigen Gefässstämme herrührten.

§. 599. Vierordt[1]) verfeinerte das Hering'sche Verfahren, indem er das Blut in 81 verschiedenen Gefässen durch Einfüllungstrichter auffing, die sich am Umkreise einer von dem Uhrwerke des Kymographion (§. 453) möglichst gleichförmig gedrehten Scheibe befanden. Da ein Umgang 50 Secunden dauerte, so erhielt er eine neue Blutprobe nach je $^3/_5$ Secunde. Er war dadurch in den Stand gesetzt, die Bestimmungen selbst in den kleinsten Säugethieren vorzunehmen. Der Weg von einer äusseren Drosselblutader zur anderen gab 10,4 bis 19,8 Secunden für den Hund, 12,9 für einen jungen Ziegenbock, 12,7 Secunden für einen jungen Fuchs, 6,8 bis 7,2 für das Kaninchen[2]), während Hering's Versuche 22 bis 32,5 Secunden als Durchschnittswerthe des Pferdes lieferten[3]). Die Jugularisbahn eines Hundes führte zu 13,2 und der Weg durch die Cruralis zu 13,1 Secunden. Ein Fuchs hatte in dieser Hinsicht 12,7 und 14,7 Secunden. Während der Lauf von einer Drosselvene des Hundes zur anderen 18,7 Sec. forderte, brauchte das Blut 23,3 Sec. für die

[1]) Vierordt, Stromgeschwindigkeiten. S. 55—57. Das Verfahren, die Eisenchloridprüfung vorzunehmen, ist S. 58. 59 beschrieben.

[2]) Vierordt a. a. O. S. 116.

[3]) Vierordt S. 115.

Bahn von der Drossel- zur Schenkelblutader. Vier andere Versuche der Art gaben im Durchschnitt[1]) 16,3 und 18,1 Sec. Die Bewegung endlich von der Drosselvene zur Schenkelschlagader des Hundes verlangte 8,6 Sec.

§. 600. Verglich VIERORDT[2]) die Mittelgrössen der von ihm und HERING gefundenen kleinsten Kreislaufszeiten mit der durchschnittlichen Zahl der Pulse in verschiedenen Säugethieren, so erhielt er im Ganzen nur geringe Schwankungen. Ein Umlauf forderte 26,1 Herzschläge im Kaninchen, 26 in dem Ziegenbocke, 26,7 im Hunde und 28,8 bis 31,6 im Pferde. Er nimmt daher 27,7 Sec. für den Menschen an. Da er zugleich 72 Pulse in der Minute voraussetzt, so hat man eine kleinste Kreislaufsdauer von 23,1 Secunden. Bestätigt sich diese Norm als allgemeines Naturgesetz und führt der Unterschied der kleinsten und der vollständigen Kreislaufsdauer zu keinen wesentlichen Abweichungen, so lässt sich schliessen, dass jede Kammerzusammenziehung nahezu den gleichen mittleren Bruchtheil der Blutmenge in den verschiedenen Geschöpfen austreibt. Dürfte man ferner die durchschnittlichen Blutmassen als beständige Bruchtheile der Körpergewichte ansehen, so müssten sich die mittleren Mengen, die jede Kammerverkürzung in den verschiedenen Säugethieren fortbewegt, wie die Körpergewichte derselben verhalten. Die durchschnittliche Häufigkeit der Pulse stünde in umgekehrtem Verhältnisse zu den mittleren Kreislaufszeiten[3]) und diese wüchsen ebenfalls nahezu in gleichem Maasse entgegengesetzt, wie die durch gleiche Theile des Körpergewichtes in denselben Zeitgrössen strömenden mittleren Blutmengen[4]). Die letzteren scheinen sich endlich umgekehrt wie die durchschnittlichen arteriellen Blutdrucke zweier Säugethierarten, diese also nahezu wie die mittleren Kreislaufszeiten zu verhalten[5]).

§. 601. Der Unterschied der kleinsten und der vollständigen Kreislaufsdauer kann es nicht ändern, dass ein Umgang des Blutes in sehr kurzer Zeit vollendet wird. Dieses rührt davon her, dass die grosse Geschwindigkeit der Blutbewegung in den umfangreicheren Schlag- und Blutadern (§. 482 fgg. und 554 fgg.) die Langsamkeit derselben in den Haargefässen (§. 536) ausgleicht. Würde auch

---

[1]) VIERORDT S. 118.
[2]) VIERORDT S. 130.
[3]) VIERORDT S. 133.
[4]) VIERORDT S. 135.
[5]) VIERORDT S. 138—141.

z. B. unser Blut 15 Secunden in den feineren Gefässen, deren Secundengeschwindigkeit zwischen $^1/_{50}$ und 4 Centimeter liegt (§. 537), verweilen, so könnte es doch in den mittleren und grösseren, deren Schnelligkeit sich von 4 auf 40 Centimeter erhöht, eine Länge von 1,76 Meter mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 22 Centimetern innerhalb 8 Secunden durchlaufen. Die blosse Entfernung eines Körpertheiles von dem Herzen bestimmt daher auch nicht, welche Kreislaufsdauer das ihn durchsetzende Blut fordert. Die Querschnitte der Röhren und alle Umstände überhaupt, welche die Geschwindigkeit verlangsamen, üben hier einen grösseren Einfluss als der blosse Abstand von dem Herzen aus, wenn nicht zugleich krankhafte Verhältnisse die Bewegung schon in den weiteren Schlagadern verlangsamen (§. 475 fgg.). Das Blut, welches die Kranzgefässe des Herzens durchsetzt, hat desshalb nicht nothwendiger Weise eine wesentlich kleinere Umlaufszeit als das, welches durch den Hals, den Kopf oder selbst die Nieren strömt. Sie muss um so ungleicher für die einzelnen Blutmassen ausfallen, je grössere Geschwindigkeitsunterschiede die äusseren Bedingungen in den mannigfachen Gefässbezirken einführen. Lässt die Kälte das Blut in unserer Haut langsamer fliessen oder führen krankhafte Bedingungen zu dem gleichen Erfolge für innere Theile, so wird auch demgemäss die Grösse der Umlaufszeit dieser Körperabschnitte verhältnissmässig abnehmen.

§. 602. VIERORDT [1]) schliesst aus seinen und HERING's Versuchen, dass jüngere Pferde merklich kürzere Kreislaufszeiten haben und daher ein in Verhältniss zu ihrer Blutmenge grösseres Blutvolumen mit jeder Kammerverkürzung ausgiessen als ältere. Bedeutendere Körperlängen und Körpergewichte vermehren auch den Zeitwerth der Umlaufsdauer [2]). Kleinere Hunde scheinen merklich grössere arterielle Stromgeschwindigkeiten als grössere zu besitzen [3]). Körperbewegungen, welche die Häufigkeit des Pulses vermehren, lassen die mit der Kammerverkürzung ausgetriebenen Blutmengen um weniger als in gleichem Verhältnisse sinken, so dass sich desshalb die Kreislaufsdauer verkleinert [4]). Die bis jetzt vorliegenden Erfahrungen gestatten keine sicheren Schlüsse über den Einfluss der Häufigkeit der Athemzüge. Kleinere Blutverluste ändern nach HERING die

---

[1]) VIERORDT S. 166. 167.
[2]) VIERORDT S. 168.
[3]) VIERORDT S. 169.
[4]) VIERORDT S. 171.

Umlaufszeit nicht. Grosse dagegen verlängern sie nach ihm in Pferden und nach VIERORDT[1]) auch meistentheils in Hunden in auffallendem Grade. Da jene die Häufigkeit des Pulses erhöhen, so kann es sich ereignen, dass das mit jeder Kammerverkürzung ausgetriebene Blutvolumen weniger als in gleichem Verhältnisse sinkt und desshalb eine kürzere Kreislaufsdauer hergestellt wird. Diese verlängert sich bisweilen im Hunde nach der doppelten Vagustrennung[2]). HERING[3]) hat eine Reihe von Fällen, in denen sie ungefähr den gewöhnlichen Werth wie in gesunden Pferden bei chronischer Hirnhautentzündung, Bauchfellentzündung und Darmeinschnürung oder Lungenfellentzündung, die durch die Einspritzung von Canthاridentinctur erzeugt worden, darbot. Er nahm ab bei Asthma, den Folgen grossen Blutverlustes, Lungenfellentzündung durch die Einführung von Ammoniaklösung oder Weingeist in die Pleurahöhle. Die Einspritzung von kaustischer Ammoniaklösung in die Pleurahöhle führte zu einer wesentlich kürzeren Dauer, als die Zahl der Pulsschläge nur auf 72 und zu einer längeren, als sie auf 90 oder 100 in der Minute gestiegen war. Die Chloroformbetäubung verlangsamte sie um so mehr, je tiefer sie eingriff[4]). Die Einspritzung von Fingerhutaufguss in das Blut von Hunden vergrösserte zwar nach VIERORDT[5]) die mit jeder Kammerverkürzung ausgegossene Blutmenge. Die starke Abnahme der Häufigkeit der Pulsschläge bewirkte jedoch, dass die Kreislaufsdauer dessenungeachtet merklich stieg. Das Morphin änderte sie nicht in einem Versuche von HERING[6]).

4. Blutvertheilung im Leben und nach dem Tode.

§. 603. Es wurde schon §. 127 fgg. erläutert, wie der Grundsatz der Erhaltung der lebendigen Kraft die Arbeit schätzen lässt, die eine Maschine innerhalb einer gegebenen Zeit liefert. Sie gleicht zunächst dem halben Unterschiede, welchen die Summen der Pro-

---

[1]) VIERORDT S. 175.

[2]) VIERORDT S. 182.

[3]) VIERORDT S. 184. 185.

[4]) VIERORDT S. 185.

[5]) VIERORDT S. 187.

[6]) VIERORDT S. 189.

ducte der Massen in die Quadrate der Anfangs- und der Endgeschwindigkeiten geben. Man kann sie aber auch durch die Differenz der Integrale der virtuellen Momente der bewegenden und der widerstehenden Einflüsse ausdrücken (§. 127. Gleich. 26). Diese zweite Bestimmungsweise führte zu der Regel der Mechaniker, eine Arbeit nach ihrer Nutzwirkung oder nach dem Producte der bewältigten Last in die senkrechte Hubhöhe zu schätzen, sie also z. B. als gleichwerthig mit 10 Kilogrammeter für die Secunde anzusehen, wenn sie eben so viel leistet, als würde eine Last von 10 Kilogramm auf 1 Meter, von 5 Kilogr. auf 2 Meter oder von 2 Kilogr. auf 5 Meter in jener Zeiteinheit emporgehoben. Man sieht hieraus, dass diese Bezeichnung eben so viele Einzeldeutungen zulässt, als sich der Zahlenwerth der Leistungen in ganze Factoren zerlegen lässt und dass die Menge derselben unendlich würde, wenn man Brüche gestatten wollte. Es ergibt sich ferner, dass die Ausdrucksweise nur so lange gerechtfertigt bleibt, als sich der Grundsatz der Erhaltung der lebendigen Kraft überhaupt anwenden lässt (§. 133). Einer der Mitbegründer dieses Princips, DANIEL BERNOULLI [1]), war auch, so viel ich weiss, der Erste, der die Wurfgeschwindigkeit des Blutes der linken Kammer, die er für die Herzkraft nahm, auf eine Nutzwirkung von 375 Pfund und 8 Fuss Hubhöhe für die Stunde zurückzuführen suchte. Dieses würde eine mechanische Leistung von ungefähr 0,13 Kilogrammeter für die Secunde geben.

§. 604. Lassen wir die willkührlichen und zum Theil unklaren Annahmen der älteren Jatromechaniker bei Seite [2]), so hat man später nur die unmittelbare Wirkung der Kammerthätigkeit für die Bestimmung der Herzkraft in Betracht gezogen, unter diesem Worte aber immer noch drei verschiedene Dinge verstanden und berechnet. HALES [3]) suchte den hydrostatischen Gesammtdruck (§. 15) zu bestimmen, der auf der Innenwand der linken Kammer am Ende ihrer Erweiterung lasten soll und den sie daher am Anfange der Verkürzung überwinden müsste. Er nahm 15 Quadratzoll oder ungefähr 135 Quadratcentimeter für die Kammeroberfläche an und vervielfältigte diese mit der Höhe einer Blutsäule von $7^1/_2$ Fuss oder von nahezu 2,25 Meter. Dieses gäbe eine Blutsäule von

---

[1]) DAN. BERNOULLI und D. PASSAVANT, De vi cordis. Basileae 1748. bei HALLER, De p. c. h. f. Tome II. p. 375. Vgl. auch SAUVAGES bei HALES a. a. O. p. 301.

[2]) Die ausführliche Zusammenstellung derselben findet sich bei HALLER, Ebendas. p. 360—381.

[3]) HALES p. 33. 34.

ungefähr 32 Kilogr., wenn man die Eigenschwere des Blutes zu 1,05 annimmt[1]). COLIN[2]) berechnete auf die gleiche Weise den Blutdruck des Pferdes zu 118 Kilogr. POISEUILLE bestimmte als Herzkraft den hydrostatischen Gesammtdruck, der auf der Aortenmündung lastet und schätzte diesen 1,97 Kilogr., indem er 34 Millimeter für den Durchmesser jener Oeffnung und 16 Centimeter Quecksilber für den Blutdruck voraussetzte. Nahm ich das grösste und das kleinste Herz eines Erwachsenen, das mir überhaupt vorgekommen war, so erhielt ich[3]) 1,75 bis 0,73 Kilogr. VOLKMANN[4]) dagegen fand nach seinen Berechnungen, dass der Werth von POISEUILLE um $^1/_4$ zu niedrig ausgefallen sei.

§. 605. J. R. MAYER, VIERORDT, LUDWIG und ONIMUS suchten die mechanische Leistung des Herzens ähnlich wie BERNOULLI (§. 603) auszudrücken. VIERORDT[5]) z. B., der 120 Grm. Blut mit jeder Zusammenziehung der linken Kammer austreten lässt, kommt auf 0,30 Kilogramm-Meter für die Secunde, indem er zugleich 75 Herzschläge für die Minute zum Grunde legt. Der Druck, den HERING (§. 466) für die rechte Kammer gefunden hat, gibt ihm 0,17 Kilogr.-Meter, so dass das Herz im Ganzen eine Leistung von 0,47 Kilogr.-Meter für die Secunde liefern würde. LUDWIG[6]) nimmt an, dass die linke Kammer 175 Grm. mit ihrer Verkürzung austreibt, die Secundengeschwindigkeit 0,4 Meter beträgt und die Spannung dem Drucke einer Blutsäule von 2,24 Meter gleicht. Man hat daher eine Leistung von $0,175 \times 2,64$ oder von 0,462 Kilogr.-Meter für die linke Kammer des Menschen. Berechnet man die Nutzwirkung nach den Voraussetzungen, die ONIMUS[7]) zum Grunde legt,

---

[1]) HALES selbst berechnet nur 51,5 Pfund.

[2]) COLIN, Gazette méd. de Paris. 1858. No. 32. p. 493—495. Annales des sciences naturelles. 4. Série. T. IX. p. 1—16. (Extraabzug.)

[3]) Lehrb. d. Phys. Zweite Aufl. Bd. I. S. 460.

[4]) VOLKMANN, Haemodynamik. S. 215.

[5]) VIERORDT, Arch. für physiol. Heilk. Bd. IX. 1850. S. 373—380 und Bd. X. S. 40—43.

[6]) C. LUDWIG, Lehrbuch der Physiologie. Bd. II. S. 141.

[7]) Nennt man das Gewicht der mit jeder Zusammenziehung der beiden Kammern ausgetriebenen Blutmenge p, die Blutsäulen, welche den Druckhöhen der rechten und der linken Kammer entsprechen, h' und h'', das Gewicht, das in Folge der unvollkommenen Austreibung in der linken Kammer zurückbleibt, p'' und den ähnlichen Werth der rechten Kammer p', endlich die von dem Herzen für den Schlagaderblutlauf wahrhaft gelieferte Nutzwirkung T, so hat man:

$$T = [p - (p' + p'')]\,(h' + h'') \qquad (86)$$

so würde die Arbeit des ganzen Herzens, also beider Kammern zusammen, 0,44 Kilogr.-Meter für jeden Schlag ausmachen.

§. 606. Die bleibende Spannung der Schlagadern (§. 451) bildet nur ein angehäuftes Kapital, von dem in den arbeitslosen Zeiten gezehrt wird. Es entsteht dadurch, dass das Herz mehr Blut eintreibt, als gleichzeitig in die Haargefässe abfliesst. Dieser Ueberschuss häuft sich durch seine Wiederholung zu einer bedeutenden Spannungsgrösse an, weil er nicht immer während der Kammerruhe vollständig aufgezehrt wird. Man darf daher die bleibende Spannung nicht in Rechnung bringen, wenn man die Leistung einer einzigen Kammerverkürzung auswerthen will. Es kann sich dann nur darum handeln, die Druck- und die Geschwindigkeitserhöhung, die sie allein erzeugt, zu berücksichtigen. Die Grösse der Nutzwirkung muss aber auch dann wesentlich kleiner ausfallen, als wenn man die bleibende Spannung und die der Kammererweiterung entsprechende Geschwindigkeit nicht ausschliesst. Wir wollen daher

---

Onimus (Robin, Journ. d'Anat. et de Phys. T. II. 1865. p. 349. 350) setzt $h' = 0{,}50$ Meter, $h'' = 2$ Meter (also zu kleine Werthe in beiden Fällen), $P = 0{,}180$ Kilogr., $p'' = 0{,}004$ Kilogr. und lässt p' unbeachtet. Man erhält daher $T = 0{,}44$ Kilogr.-Meter für die gesammte Nutzwirkung beider Kammern während eines einzigen Herzschlages.

Die Arbeit der linken Kammer lässt sich durch ph ausdrücken, wenn p das Gewicht der mit jeder Zusammenziehung derselben ausgetriebenen Blutmenge und h die gesammte durch die Verkürzung erzeugte Druckhöhe bezeichnet. Diese zerfällt aber in die Geschwindigkeitshöhe h''' und die durch den Wanddruck bestimmte Widerstandshöhe r (§. 441). Da aber $h''' = \frac{v^2}{2g}$, wenn v die Geschwindigkeit am Anfange des Aortensystemes bezeichnet, so kann man auch die Leistung T einer einzigen Zusammenziehung der linken Kammer ausdrücken durch:

$$T = p\left(r + \frac{v^2}{2g}\right). \qquad (87)$$

Monoyer (Applications des sciences physiques aux théories de la circulation. Strasbourg 1863. 4. p. 47), der diese Gleichung nach Schlussfolgerungen herleitet, die auf Gleich. (26) §. 127 beruhen, setzt $p = 0{,}180$ Kilogr., $r = 2$ Meter und $v = 0{,}5$ Meter und findet hieraus 0,362 Kilogr.-Meter für jeden Schlag der linken Kammer.

Man hat übrigens bis jetzt noch nicht in Betracht gezogen, dass die linke Kammer eine grössere Arbeit in der Wirklichkeit liefern muss, als man nach diesem Gedankengange annimmt. Die Vorhofsverkürzung treibt das Blut mit einer gewissen Geschwindigkeit in die erweiterte Kammer. Es prallt dann an den Wänden von dieser ab. Der Anfang der Systole begegnet daher vielen Flüssigkeitsfäden, die sich in einer von der geforderten Druckrichtung verschiedenen Bahn bewegen. Die Grösse von Druckkraft, die zur Ueberwindung dieser Widerstände aufgezehrt wird, kommt weder als Wand- noch als Geschwindigkeitsdruck des Schlagaderblutes zum Vorschein.

die Grundwerthe auffallend gross annehmen, um die kleine Nutzwirkung nicht zu unterschätzen.

§. 607. Denken wir uns, ein Mensch habe 70 Pulsschläge in der Minute und die Verkürzung der Kammer dauere eben so lange als die Erweiterung derselben, so nimmt jede von ihnen 0,43 Secunden in Anspruch. Treibt dabei die linke Kammer 210. Grm. Blut aus, und erhöht sie die Geschwindigkeit des Aortenblutes um 0,15 Meter und den Druck um einen Centimeter Quecksilber oder 0,13 Meter Blut (§. 465), so ergäbe sich eine Leistung von 0,06 Kilogr.-Meter für 0,43 Secunden. Man ist nicht berechtigt, dieses auf den Zeitwerth von einer Secunde überzutragen und eine Arbeitsleistung von 0,14 Kilogr.-Meter[1]) für diese anzunehmen, weil das Herz der Ermüdung wegen weniger leisten würde, als wenn es nur 0,43 Secunden thätig ist. Die §. 133 gegebene Darstellung zeigte schon, dass man den Grundsatz der Erhaltung der lebendigen Kraft nicht ohne Weiteres auf die Muskeln übertragen darf, weil ihre Arbeit von ihrer mit der Zeit sich ändernden chemischen Beschaffenheit abhängt. Die Nutzwirkung gibt desshalb auch keinen klaren Begriff der wahren Leistung (§. 127). Man erhält einen eher befriedigenden, obgleich nicht vollkommen genügenden Ausdruck, wenn man eine Einheit wählt, die aus dem Producte der Last, der Hubhöhe und der Zeit besteht. Die Verkürzung der linken Kammer des Menschen würde dann eine Arbeit von 0,026 Kilogr.-Meter-Secunden unter günstigen Bedingungen liefern.

§. 608. Die Zahl der Herzschläge oder die Häufigkeit des Schlagaderpulses wechselt in auffallender Weise mit den Lebensaltern und den augenblicklichen Zuständen des Menschen oder des Thieres überhaupt. Ein gesunder Erwachsener kann ausnahmsweise nur 20 oder bis 112 Pulsschläge in der Minute haben. Der gewöhnliche Mittelwerth beträgt 70 in dem Alter von 15 bis 80 Jahren. Man hat dagegen nach QUETELET[2]) im männlichen Geschlechte 60 bis 98 zwischen 10 und 15 und 73 bis 100 zu 5 Jahren, endlich 104 bis 165 für den Neugeborenen. Die drei Mittelwerthe betragen 78, 88 und 136. Die Auscultation der schwangeren Gebärmutter lehrt nach FLEETWOOD-CURCHILL, dass die reife

[1]) Man sieht, dass dieser Werth zufälliger Weise dem Bernoulli'schen (§. 603) am Nächsten liegt.

[2]) A. QUETELET, Ueber den Menschen und die Entwickelung seiner Fähigkeiten oder Versuch einer Physik der Gesellschaft. Uebersetzt von V. A. RIECKE. Stuttgart 1838. 8. S. 395.

Frucht 110 bis 160 Herzschläge in der Minute darbietet. Die Zahl der Herzschläge verhält sich zu der der Athemzüge wie 3,5 bis 4,4:1 zwischen 15 und 50 Jahren. Das Alter von 5 Jahren gibt 3,4 und der Neugeborene 3,0:1. Diese Verhältnissmengen schwanken also im Laufe des Lebens in weit engeren Grenzen als die absoluten Werthe der Herzschläge. Sie sollen auch nach DONNÉ in allen Krankheiten beständig bleiben.

§. 609. Man nahm häufig an, dass sich die Zahl der Pulsschläge im Greisenalter vergrössert. LEURET und MOTIVIÉ fanden 73 in der Minute als Mittelwerth von 27 Greisen von 71 Jahren durchschnittlichen Alters. 34 gesunde Frauen von 71 Jahren gaben 79 Schläge, 110 Studenten dagegen, die 21 Jahre im Mittel zählten, nur 65 Pulse. HOURMANN und DECHAMBRE erhielten im Durchschnitt 82,3 Pulsationen für 255 Frauen von einem mittleren Alter von 74,3 Jahren. PENNOCK [1]) dagegen fand 71,8 als durchschnittliche Grösse für 170 Männer von 64,1 und 70,6 für 203 Frauen von 70,6 Jahren mittleren Alters. Jene und diese lieferten einen Athemzug auf 3,5 Herzschläge. VOLKMANN [2]) berechnet nach seinen und NITZSCH's [3]) Beobachtungen, die an Sträflingen des Halle'schen Zuchthauses gemacht worden, und nach denen von GUY, dass die Mittelzahl der Pulsschläge schon 72 für das Alter von 24 bis 55 Jahren, 73 bis 75 zwischen 55 bis 75, nur 72 zwischen 75 und 80 und 79 zu 80 Jahren oder in noch älteren Männern betrage. Man dürfte sich der Wahrheit am Meisten nähern, wenn man annimmt, dass vollkommen gesunde Greise keinen wesentlich häufigeren Puls als Erwachsene mittleren Lebensalters haben, dass aber die kleineren oder grösseren Leiden, die nicht selten an dem Lebensabend des Menschen lange vor dem Erlöschen auftreten, die Häufigkeit der Herzschläge oft schon erhöhen, wenn sich auch noch nicht tiefere Störungen der Lebensthätigkeiten sonst verrathen.

§. 610. RAMEAUX und SERRUS [4]) stellten den Satz auf, dass sich die Durchschnittszahlen der Pulsschläge umgekehrt wie die Quadratwurzeln der Körperlängen verhalten. KÖNIG [5]) glaubte dieses

[1]) Gazette méd. de Paris. 1848. No. 46. p. 891.

[2]) VOLKMANN, Haemodynamik. S. 427.

[3]) A. R. NITZSCH, De ratione inter pulsus frequentiam et corporis altitudinem habita. Halis 1849. S. p. 21—24. 26. 38—42.

[4]) RAMEAUX et SERRUS, Bulletin de l'Académie de Belgique. 1839. No. 8. p. 1—8.

[5]) KÖNIG, Der Kreislauf des Blutes und die Planetenbahnen. Weissensee 1844. 8. S. 6.

wenigstens annähernd bestätigen zu können. VOLKMANN[1]) änderte den Ausspruch dahin um, dass er die Zahl der Pulsschläge umgekehrt wie die 5/9 Potenzen der Körperlängen wachsen liess. QUETELET[2]) dagegen wandte schon ein, dass ein Kind von 10 bis 11 Jahren, das eben so gross als ein kleiner Mensch sei, eine andere Häufigkeit des Pulses dessenungeachtet darbietet. RAMEAUX[3]) dehnte später seine Ansicht auf alle warmblütigen Geschöpfe aus und fasste dieselbe in einem allgemeinen Theoreme zusammen. Man könne hiernach die durchschnittliche Capacität des Herzens und die der Lungen, die Zahl der Pulsschläge und die der Athemzüge eines Menschen, eines Säugethieres oder eines Vogels von bekannter Körperlänge berechnen, wenn die Werthe jener Grössen für ein anderes Geschöpf der gleichen Art, aber von verschiedener Körperlänge gegeben sind[4]). Es versteht sich von selbst, dass die auf diese Art berechneten Zahlen nur als annähernde Mittelgrössen im günstigsten Falle gelten können.

§. 611. MAREY glaubte annehmen zu dürfen, dass sich die Zahl der Herzschläge entgegengesetzt wie die Seitenspannung des Schlagaderblutes ändert. Weder die versuchte theoretische Begründung[5]), noch die Erfahrung bekräftigen diese Annahme in allen

---

[1]) VOLKMANN, Haemodynamik. S. 430.

[2]) A. QUETELET, Du système social et des lois qui le régissent. Paris 1848. S. p. 49.

[3]) RAMEAUX, Des lois suivant lesquelles les dimensions du corps dans certaines classes d'animaux déterminent la capacité et les mouvements fonctionels des poumons et du coeur. Bruxelles 1858. 4. p. 5.

[4]) Bezeichnen d und d' die Körperlängen, n und n' die Zahlen der Pulsschläge oder der Athemzüge, so hat man:

$$n' = n \sqrt{\frac{d}{d'}} \qquad (88)$$

Nennt man die Capacität der linken Kammer oder der Lungen v und v', so ergibt sich:

$$v' = v \frac{d'^{\frac{3}{2}}}{d^{\frac{3}{2}}} \qquad (89)$$

[5]) MONOYER (a. a. O. p. 52) bemühte sich, den Marey'schen Satz daraus herzuleiten, dass eine Maschine nur dann gleichförmig arbeitet, wenn die in jedem Augenblicke neu erzeugte lebendige Kraft durch die Widerstände aufgezehrt wird (§. 127 Anmerk. 7), bemerkt aber später (p. 53) selbst, dass diese Grundbedingung für das Herz nicht gilt, weil die Kammerzusammenziehung den arteriellen Blutstrom beschleunigt. Man kann dessenungeachtet einen Scheinbeweis nach demselben Gedankengange, den MONOYER einschlägt, liefern. Es sei n die der Zeiteinheit entsprechende Zahl der Herzschläge, T die durch die Gesammtsumme derselben gelieferte Arbeit, p die mittlere mit jedem einzelnen Herzschlage ausgetriebene Blutmenge, h die durchschnittliche Geschwindigkeits-

Fällen. Der grössere Wanddruck entsteht dadurch, dass das Herz mehr Blut in die Aorta giesst als gleichzeitig in die Haargefässe abfliessen kann (§. 451). Wird die Erhöhung desselben durch eine absolut grössere Blutmenge erreicht, so fordert der Eintritt derselben längere Zeit, so dass die der Zeiteinheit entsprechende Zahl der Herzschläge abnimmt. Vergrössert sich aber die Seitenspannung der Schlagadern nicht dadurch, dass mehr einströmt, sondern dass weniger als gewöhnlich in die Haargefässe tritt, so kann sie zu Stande kommen, wenn jeder Herzschlag die gewöhnliche oder selbst eine kleinere Menge forttreibt, folglich der Puls regelrecht bleibt oder selbst häufiger wird. Die durch die Entzündung erzeugte Stockung in den Haargefässen muss die Seitenspannung in den Schlagadern um so mehr erhöhen, eine je grössere Summe von Gewebtheilen sie ergriffen hat. Sie kann aber schon den Puls aus rein mechanischen Ursachen häufiger machen. Da überdies die Zahl der Herzschläge nicht bloss von den Widerständen, sondern auch von den Verkürzungsgrössen der Muskelmasse des Herzens selbst abhängt, so kann jede Anschauung, die auf einer einseitigen Beziehung zur Schlagaderspannung fusst, nicht genügen. Der Wanddruck und die Zahl der Herzschläge sinken z. B. im Todeskampfe gleichsinnig, weil die Abnahme der Arbeitsleistung des Herzmuskels eine geringere Menge Blutes langsamer austreibt. Hat man einen länger anhaltenden Stillstand des Herzschlages durch die Tetanisation des herumschweifenden Nerven erzeugt, so steigt die Seitenspannung der Carotis nach den ersten Herzbewegungen, weil das Herz eine ungewöhnlich grosse Blutmenge in die Arterien treibt. Es entleert nicht bloss die in ihm angesammelte Blutmasse, sondern nimmt auch noch später mehr

---

und r die mittlere Widerstandshöhe des Blutes am Anfange des Schlagadersystemes, so hat man, ähnlich wie in Gleichung (86)

$$T = np\,(h + r).$$

Folglich

$$n = \frac{T}{p\,(h + r)} \qquad (90)$$

Da h in Vergleich mit r klein bleibt, so könnte man auch annähernd

$$n = \frac{T}{pr} \qquad (91)$$

setzen. Dieses würde den ursprünglichen Marey'schen Satz geben, dass die Zahl der Herzschläge der Seitenspannung des Schlagaderblutes umgekehrt proportional sei.

Der Trugschluss rührt davon her, dass man eine Betrachtungsweise auf grössere Zeiträume der Herzthätigkeit ausdehnt, die höchstens für einen Herzschlag gelten kann (§. 133 Anmerk. 1), wenn man die Zeitdauer desselben überhaupt vernachlässigt.

auf, weil sich die Blutadern während der Ruhe in Folge des Einflusses der bleibenden Spannung der Schlagadern stärker gefüllt haben.

§. 612. Der Puls geht im Durchschnitt nach GUY[1]) um 1/8 bis 1/9 langsamer bei dem Liegen als dem Sitzen und um 1/4 bis 1/23 weniger schnell als bei dem Stehen. Dieses und das Liegen zeigten einen Unterschied von 1/4 bis 1/107. Man erhält im Allgemeinen ähnliche Ergebnisse, wenn man den Menschen an ein Bret bindet, dasselbe in die wagerechte, schiefe oder senkrechte Lage bringt und die Muskelbewegungen auf diese Weise ausschliesst.

§. 613. Die Frau hat im Allgemeinen einen etwas häufigeren Puls als der Mann, nicht bloss vermöge ihrer kleinen Körpergrösse, sondern in Folge ihres Baues überhaupt[2]). Die Nahrungseinnahme kann die Zahl der Schläge erhöhen und das anhaltende Hungern dieselbe herabsetzen. Die ausschliessliche Pflanzenkost der von VOLKMANN[3]) untersuchten Sträflinge verrieth eine merkliche Verlangsamung in Vergleich mit besser genährten Menschen derselben Körperlänge. Der Genuss einer grösseren Masse von Bier, Wein oder Weingeist erniedrigt zuerst nach LICHTENFELS und FRÖLICH[4]) die Menge der Pulsschläge und erhöht sie später. Die Berauschung kann aber schon zur Zeit der Langsamkeit des Pulses auftreten. Die Einnahme von Brausepulver oder von blossem Wasser liess die Häufigkeit des Pulses sinken, die von Belladonna oder Atropin im Anfange fallen und späterhin steigen, während Opiumpräparate den entgegengesetzten Gang zur Folge hatten. Haschisch bewirkte zuerst eine Verlangsamung, dann eine Beschleunigung und zuletzt ein wiederholtes Auf- und Niedergehen um die Normalzahl. Die Aether- oder die Chloroformbetäubung kann die Zahl der Pulsschläge bis auf das Doppelte nach jenen Forschern erhöhen. Die Uebelkeit und aus diesem Grunde die Seekrankheit setzen oft die Häufigkeit des Pulses bedeutend herab.

§. 614. Eine höhere Wärme, die den Durchgang des Blutes durch die Haargefässe erleichtert, pflegt auch die Zahl der Herz-

---

[1]) GUY's Hospital Reports. Vol. III. London 1838. 8. p. 92—110. 308—329. Vol. IV. 1839. 8. p. 63—74. Vgl. auch J. GUERTIN, De la fréquence du pouls dans l'état physiologique. Strasbourg 1858. 4. p. 19.

[2]) Siehe die Tabelle bei VOLKMANN a. a. O. S. 437.

[3]) VOLKMANN a. a. O. S. 435.

[4]) R. LICHTENFELS und R. FRÖLICH, Denkschriften der Wiener Akad. Bd. III. 1852. Fol. S. 113—154.

schläge zu vermehren. FLEURY sah sie z. B. auf 145 in der Minute steigen, wenn er sich in einem auf 48° C. erwärmten Raume befand. Die tägliche Erfahrung lehrt ferner, dass das rasche Laufen die Häufigkeit des Pulses merklich vergrössert und diese Wirkung auch noch während des Ausruhens anhält. Der Puls ist im Schlafe seltener als während des Wachens. Die Herzschläge werden oft stürmisch, wenn Leidenschaften oder andere Reize das Nervensystem aufregen.

§. 615. Die Häufigkeit des Pulses nimmt nach LICHTENFELS und FRÖLICH zu, wenn man den belasteten Arm pendelartig hin und her bewegt. Sie geht periodisch auf und nieder, so wie man ihn längere Zeit steif ausgestreckt erhält, weicht aber bisweilen von den gewöhnlichen Verhältnissen wenig ab, wenn selbst die Muskeln in lebhaftes Zittern verfallen. Die gewaltsame Streckung der mit 10 bis 20 Kilogrammen belasteten Hand kann den Radialpuls nach VERNEUIL [1]) verschwinden lassen, weil dann die aponeurotischen Ausbreitungen der Beuger des Vorderarmes (Biceps und Brachialis internus) die Armschlagader zusammendrücken. MARTIN und MAUER fanden, dass das Schreien und das Weinen der Kreisenden keinen Einfluss auf die Häufigkeit des Pulses ausübt. Diese steigt aber zuerst während der Wehe und sinkt wiederum am Ende derselben. (Vgl. §. 500.) Der Gebrauch des Mutterkornes erhöht sie für alle Zeiten. Die Chloroformirung bedingt keinen Unterschied der Pulsfrequenz für die Wehenzeit in Vergleich zur Wehenpause.

§. 616. Wir haben schon §. 512 gesehen, dass eine grössere Häufigkeit des Pulses noch Nichts über die Einzelbeziehungen der Herzthätigkeit aussagt, weil sie von einer Abnahme der Verengerungsdauer bei gleich grosser Erweiterung oder dem umgekehrten Verhältnisse oder der gleichzeitigen Abkürzung der Zeit der Zusammenziehung und der der Erschlaffung herrühren kann. Ausgedehnte Versuchsreihen mit Sphygmographen, die keine Trugbilder liefern (§. 504 fgg.), werden erst entscheiden können, wie sich diese Verhältnisse in den verschiedenen F i e b e r l e i d e n, in denen schon die höhere Eigenwärme zu einer grösseren Menge von Herzschlägen führt, in den verschiedenen Einzelfällen gestalten. Wollte man die Untersuchungen an Thieren anstellen, so hätte man den Vortheil, dass die hier mögliche Blosslegung der Schlagadern die wesentlichsten Störungen der Zwischentheile, welche die Pulscurven des Men-

---

1) VERNEUIL, Journ. de Physiol. Tome I. 1858. p. 506—512.

sehen so leicht ungenau machen, beseitigte. Es ergibt sich ferner aus dem §. 602 Dargestellten, dass eine grössere Häufigkeit des Pulses nicht nothwendiger Weise einen rascheren Blutumlauf oder eine kürzere Kreislaufsdauer zur Folge hat. Diese kann auch unverändert bleiben, wenn z. B. die Entzündung eines grösseren Körperorganes eine verhältnissmässig nicht unbedeutende Blutmenge dem Umlaufe entzieht und die Häufigkeit des Pulses gleichzeitig vermehrt[1]). Liegt die Ursache der zahlreicheren Schläge in einer Abnahme der Erweiterungszeiten der Kammern bei regelrechter Dauer der Verkürzung derselben, so wird der häufigere Puls voll, gross und hart werden, wenn die Entspannung der Schlagadern nicht alles neu eingetriebene Blut entleert. Fällt umgekehrt die Zusammenziehung der Kammer zu kurz, die Erschlaffung dagegen regelrecht aus, so kann die Rückwirkung der Schlagadern, die jetzt längere Zeit thätig ist, den Puls fadenförmiger und weicher erscheinen lassen. Nehmen endlich die Zeiten für beide Momente der Herzthätigkeit so ab, dass sich ihre gegenseitigen Beziehungen wie bei Gesunden verhalten, so ist es möglich, dass die grössere Häufigkeit die einzige Unregelmässigkeit bildet. Da der harte Puls nicht bloss aus einer stärkeren Füllung, sondern auch aus einer anhaltenden Zusammenziehung der Muskelmassen der Schlagadern hervorzugehen vermag, so muss man auch diese Möglichkeit in allen Fällen berücksichtigen.

§. 617. Der sichtbare Kreislauf der Haargefässe belehrt nicht selten über Zustände des Herzens oder anderer entfernter Theile. Man hat dieses bis jetzt zu wenig für Thierversuche, die man zur Erläuterung der Krankheitserscheinungen anstellte, benutzt. Ein Frosch wird an einer Korkplatte befestigt, die Schwimmhaut in fester Lage ausgespannt unter das Mikroskop gebracht und zwei Nadeln, welche die Enden eines Schlitten-Magnetelektromotors bilden, etwas über die Gegend des Herzens bis in den Kork durchgestochen.

---

[1]) Setzt man, um alle möglichen Schwankungen anzuzeigen, d $(1 \pm \delta)$ statt d, q $(1 \pm \varkappa)$ statt q, t $(1 \pm \tau)$ statt t und b $(1 \pm \beta)$ statt b in (85) §. 595 und theilt die neue Gleichung durch (85), so erhält man die Beziehung:

$$1 \pm \delta = (1 \pm \tau) \frac{1 \pm \varkappa}{1 \pm \beta} \tag{92}$$

Soll die Kreislaufsdauer dieselbe bleiben oder $\delta = 0$ werden, so kann die durch $-\tau$ angezeigte grössere Häufigkeit oder die mit $+\tau$ verbundene bedeutendere Langsamkeit des Pulses durch eine Aenderung der Gesammtmenge des Blutes, einen Wechsel der mit jeder Kammerzusammenziehung ausgegossenen Blutmenge oder beide Bedingungen zugleich ausgeglichen werden.

Lässt man zuerst schwache Inductionsströme einbrechen, so beschleunigt sich oft der Blutlauf. Es kommt vor, dass sich die Stromesrichtung in einzelnen Haargefässen und den gröberen Verbindungsästen der Blutadern ändert, dass sie in den stärkeren Venenwurzeln umkehrt, wenn die Zusammenziehung der Muskeln grössere Hindernisse dem Venenblutlaufe in den Weg legt und dass die Flüssigkeit eines Nebenzweiges in einen schiefen Anastomosenast eindringen will, ohne dessen Widerstand überwinden zu können (§. 531 fgg.). Starke lähmende Ströme lassen bald den Blutlauf aufhören. Behält man jetzt eine Anzahl grösserer Venenwurzeln, die dicht mit Blutkörperchen gefüllt sind, im Gesichtsfelde und führt die kräftigen Schläge des Magnetelektromotors von Neuem durch das Herz oder die herumschweifenden Nerven, so rücken bald darauf die venösen Blutsäulen in der Richtung nach dem Herzen zu rasch vorwärts. Die Bewegung hört mit dem Ende des Elektrisirens oder während desselben, wenn es zu lange dauert, auf. Man hat später plötzliche Ruhe oder Stillstand nach kurzem Hin- und Herschwanken. Der Versuch lässt sich eine Reihe von Malen mit demselben Erfolge wiederholen, nachdem man immer ein paar Minuten Ruhe dem Thiere gegönnt hat. Die elektrische Reizung lässt das Herz erschlaffen. Dieses setzt dann nur seinen elastischen Widerstand der Erweiterung entgegen. Stört nicht der Muskeldruck, den die Krämpfe erzeugen, die Rückwirkung bis zu den unter dem Mikroskope liegenden Blutadern, so rückt ihr Inhalt nach, so wie die Spannung der Blutadern, die dem Herzen näher liegen, mehr Flüssigkeit in dieses übergeführt hat. Man sieht daher auch nicht das Zurückrücken in allen Venenwurzeln.

§. 618. Stockt selbst der Blutlauf länger als eine Viertel- oder eine halbe Stunde nach einem solchen Eingriffe, so erholt sich doch später der Frosch vollständig. Die mikroskopische Untersuchung kann dann unmittelbar zeigen, wie rasch sich die Widerstände mit der Anhäufung der Blutkörperchen in den ruhenden Blutsäulen vergrössern, wie desswegen die Stromesrichtungen in den Anastomosenzweigen im Laufe der Erholung wechseln, wie der Herzdruck zuerst zu schwach ist, eine geronnene Blutsäule zu verrücken, wenn er selbst schon benachbarte flüssigere hin und her bewegt. Die Richtung der Bewegung kehrt sich selbst in Schlagaderzweigen um, wenn zwar der Herzdruck das Blut verschoben hat, die elastischen Nachwirkungen der folgenden Schlagaderzweige aber schwächer als die vorliegenden Widerstände ausfallen.

§. 619. Drückt man den Oberschenkel des Frosches allseitig und kräftig zusammen, so steht der Haarblutlauf der Schwimmhaut nach wenigen Secunden still, weil die Pressung die Schlag- und die Blutadern beengt und daher die Entspannung der Schlagadern einen unüberwindlichen Widerstand an den Hindernissen der Venenentleerung findet. Wirkt dagegen der Druck nur auf den Hauptarterienstamm, so kann die Strömung in den Haargefässen noch eine Zeit lang unter dem Einflusse der elastischen Rückwirkung der Arterienwände fortdauern. Schwächt man die Herzbewegung durch die Anwendung von Sublimat oder eines anderen sie allmälig lähmenden Giftes, so führt ein auf die Schwimmhaut gelegtes Gewicht, das den Blutlauf der Haargefässe in dem gesunden Thiere nicht störte (§. 532), zu dem Stillstande desselben. Man kann auch die Zunahme der Herzkraft während der Erholung nach der Grösse der hierzu nöthigen Belastungen schätzen. Es fragt sich, ob nicht ähnliche mit einem Hebelwerke angestellte Druckversuche zur Ausmessung der Widerstände in entzündeten oder überhaupt in stark gerötheten Aussentheilen des Menschen dienen könnten.

§. 620. Der Blutlauf der Haargefässe zeigt unmittelbar und die Druckverhältnisse in den grossen Gefässen lassen schliessen, dass alle Theile des Gefässsystemes eines Geschöpfes solidarisch verbunden sind. Die grössere Entleerung des einen Bezirkes zieht sogleich eine stärkere Füllung, also eine raschere Bewegung oder eine höhere Ausdehnung und Spannung eines anderen nach Maassgabe der Widerstände nach sich. Diese doppelte Möglichkeit erklärt es auch, wesshalb sich die krankhaften Erscheinungen des Druckes nur in denjenigen Theilen verrathen, in denen die Durchgangshindernisse eine vermehrte Spannung, nicht aber in denen, in welchen sie eine grössere Geschwindigkeit erzeugen. Ein Gesunder bekommt daher auch leicht Kopfschmerz, nicht aber Athmungsstörungen bei dem kräftigen Gebrauche der Bauchpresse. Ein Schwindsüchtiger dagegen ist in dem gleichen Falle der Gefahr ausgesetzt, dass eines seiner Lungengefässe, das in der Nähe eines Eiterheerdes oder einer Höhle verläuft, berstet. Kranke, die an der sogenannten venösen Plethora der älteren Aerzte leiden, werden sogleich von Schwindel befallen, so wie eine gewisse Blutmenge aus irgend einem Grunde aus dem Unterleibe verdrängt oder von ihm nicht aufgenommen wird, während die übrigen Körpertheile keine Störungen verrathen. Jeder Druck, der sich durch die Gefässwände fortpflanzt, trifft die in der unnachgiebigen Schädelkapsel eingeschlos-

senen Theile vollständiger als andere Gebilde, die ihm zum Theil durch ihre Ortsverrückung ausweichen können.

§. 621. Die mannigfachen Seitenverbindungen der grösseren Gefässe erleichtern den Abfluss, wenn sich ungewöhnliche Hindernisse der Strombahn entgegensetzen. Kein Theil unseres Körpers hat ein in sich abgeschlossenes Gefässsystem. Das Blut des Herzens ergiesst sich nicht bloss durch die grosse und die kleinen Herzvenen in den rechten Vorhof, sondern eine geringe Menge desselben gelangt auch nach Beraud durch zwei kleine Venen in die an der Lungenschlagader und der Aorta befindlichen Geflechte und von da in die linke Zwerchfellblutader. Wir haben schon §. 569 gesehen, dass Nebenzweige vorkommen, die nicht alles von den Unterleibseingeweiden zurückkehrende Blut durch die Leber gehen lassen. Das System der unpaaren Vene, die Blutadern der Brust- und der Bauchdecken und die Geflechte in dem Wirbelcanale bilden solche seitliche Verbindungswege zwischen der oberen und der unteren Hohlvene. Eine ähnliche Bestimmung haben die Uebergänge der Bronchialcapillaren in die Wurzeln der Lungenvenen. Es wurde schon §. 560 bemerkt, dass alle diese Nebenbahnen, die eine untergeordnete Rolle unter regelrechten Verhältnissen übernehmen, gewissermaassen Sicherheitsventile für krankhafte Zustände bilden und sich erweitern oder ihre Schleussen öffnen, so wie die Hauptwege aus irgend einem Grunde verstopft sind oder überhaupt nur ungewohnte Hindernisse bereiten.

§. 622. Man hat es hin und wieder versucht, die Blutmengen, die einzelne Theile enthalten, theoretisch zu berechnen. Rochoux [1]) z. B., der 7,3 Kilogr. Blut dem Menschen zuschreibt, theilt 6,6 dem Körper-, 0,5 dem Lungenkreislaufe und 0,2 dem Herzen zu. Die Haargefässe des Körperkreislaufes sollen 4,8 und die des Lungenkreislaufes 0,3 Kilogr. Blut enthalten. Die gegenseitigen Verhältnisse dieser Zahlen machen schon die Richtigkeit der Schätzung, deren Grundlage nicht näher erläutert worden, in hohem Grade zweifelhaft. Ruht auch die Behauptung, dass die Lungen mehr als die Hälfte ihrer Masse an Blut, die übrigen Körpertheile dagegen nur ungefähr $^1/_{10}$ enthalten, auf schwankender Grundlage, so versteht es sich doch von selbst, dass die Athmungswerkzeuge die verhältnissmässig grösste Blutmenge von allen Körpertheilen führen. Wollte man überhaupt die der einzelnen Organe, wie dieses z. B. Welcker als Anwendung seines Färbungsverfahrens (§. 585) vor-

[1]) Die Einzelnheiten siehe in Canstatt's Jahresbericht. 1849. Bd. I. S. 140. 141.

geschlagen und beispielsweise ausgeführt hat, annähernd bestimmen, so liessen sich physiologisch verwerthbare Zahlen nur dann gewinnen, wenn man alle zu- und ableitenden Blutgefässe im lebenden Thiere unterbunden hätte, weil sich die Verhältnisse in der Leiche wesentlich ändern, wie wir sogleich ausführlicher sehen werden.

§. 623. Der Wechsel des Blutgehaltes erzeugt einen auffallenden Volumenswechsel der erectilen Gebilde (§. 576). Dasselbe kann sich für die übrigen Körpertheile in beschränkterem Maasse wiederholen. Die Dehnbarkeit und die Menge ihrer Gefässröhren bestimmen die Grösse des möglichen Unterschiedes. Hält man dagegen den Zufluss des Schlagaderblutes zu dem Kopfe eines Kaninchens ab, so werden nach KUSSMAUL das Ohr, die Zunge, die Schleimhäute der Mundhöhle und der Nase und die Bindehaut blasser. Das Auge tritt in die Augenhöhle zurück, die Lider rücken einander näher und das Schloch verengt sich. Die stärkere Füllung kann umgekehrt den Augapfel zur Augenhöhle theilweise hervortreiben. Das Schloch vergrössert sich und die Augenlidspalte wird weiter. Ein anhaltendes Schwanken der Blutmenge der einzelnen Theile greift unzweifelhaft im gesunden und vorzugsweise in dem kranken Körper häufig durch. Eine gewisse Summe von Geweben gewinnt dabei an Blut und an Raumumfang, was andere verlieren. Die Einzelverhältnisse sind nach den Normen zu beurtheilen, wie sie §. 184 fgg. und §. 474 fgg. für die Widerstände in grösseren Gefässröhren erläutert worden.

§. 624. Die ungleiche Vertheilung bildet die Hauptursache der Störungen, welche die durch den Schein irre geleitete Heilkunde einer Vollblütigkeit, einer Plethora oder einer absolut vergrösserten Menge ohne Grund zuschreibt. Die Erleichterung, die örtliche Blutentleerungen oder Aderlässe in der Nähe des entzündeten Bezirkes herbeiführen, geht nicht aus einer beträchtlichen Abnahme der Gesammtblutmenge hervor (§. 579 fgg.). Sie rührt vielmehr davon her, dass die örtliche Ueberfüllung und Spannung vermindert wird[1]). Grosse Aderlässe oder andere Eingriffe, z. B. die Einführung

[1]) Die an einer Stelle vorhandenen Gefässverbindungen und nicht die blosse Nachbarschaft entscheiden in solchen Fällen über die Art der Wirkung. Blutigel, die man an den Unterleib setzt, üben zunächst ihren Einfluss auf die Zweige der Hüftblutadern und nicht auf die der Wandungslamelle des Bauchfelles und die meisten Unterleibseingeweide aus. Das Letztere gilt auch von den Beziehungen der Brusthaut zu dem Herzbeutel und dem Herzen, das Umgekehrte dagegen für die Haut vor dem Kehlkopfe und diesen selbst. Ebenso hat man unmittelbare Verbindungen zwischen der Rückenhaut und

von Wasser, Salpeter oder ähnlich wirkenden Salzen, die das Blut wässriger oder weniger gerinnbar machen und daher auch seine innere und äussere Reibung herabsetzen (§. 598), gewähren einen doppelten Vortheil. Sie lassen dasselbe durch feine Röhren leichter gehen (§. 179 fgg.). Die Blutflüssigkeit selbst aber dringt um so eher in die mit stockendem Blute gefüllten Haargefässe und bereitet daher die Wiederkehr eines vollständigen Kreislaufes vor (§. 538 fgg.).

§. 625. Wie sich der Einfluss der Schwere bei schwachen Druckkräften in merklicher Weise geltend macht (§. 555), so kann auch die von NEUDÖRFER[1]) zuerst versuchte Haemoballie oder die rasche Drehung eines Thieres um einen unbeweglichen Mittelpunkt, also die Wirkung der Schwungkraft, die Blutvertheilung wesentlich ändern. Die Centrifugalkraft wächst in gleichem Verhältnisse der sich bewegenden Masse und des Quadrates der Geschwindigkeit und in umgekehrtem des Krümmungshalbmessers der Bahncurve an dem betrachteten Punkte. Ihr Einfluss nimmt daher mit der Grösse des gedrehten Thieres und der Schnelligkeit der Bewegung zu. Hat man eine Kreisbahn, so steht die Schwungkraft in geradem Verhältnisse zu dem Halbmesser und in umgekehrtem zu dem Quadrate der Drehungszeiten. Denkt man sich also die Längsachse eines Thieres einem Kreishalbmesser parallel und auf der Drehungsachse senkrecht, so werden die einzelnen Organe einen um so grösseren Werth der Centrifugalkraft liefern, je weiter sie von dem Mittelpunkte entfernt liegen. Zerlegt man den arteriellen und den venösen eine bestimmte Geschwindigkeitsrichtung erzeugenden Blutdruck in einen Theil, welcher der Längsachse des Thieres oder dem Halbmesser des Drehungskreises parallel geht und einen zweiten, der auf ihm senkrecht steht, so wird sich die Wirkung der Centrifugalkraft als gleichsinnige oder entgegengesetzte, als positive oder negative Grösse zu der ersteren hinzufügen, also entweder den Schlagaderblutlauf begünstigen und den Venenblutlauf erschweren oder umgekehrt eingreifen[2]). Die Gleichläufigkeit der Puls- und der

---

den Venengeflechten im Innern der Wirbelsäule. Siehe BINZ in Canstatt's Jahresbericht. 1864. Bd. I. S. 145. 146.

[1]) J. NEUDÖRFER, Studien zur Heilkunde. Wien 1855. 8. S. 29 fgg.

[2]) Nennen wir c die Schwungkraft, m die Masse des Körpers, v die Geschwindigkeit der Drehung und ϱ den Halbmesser des Krümmungskreises in dem betrachteten Punkte der Curvenbahn, so hat man zunächst (§. 241) $c = \frac{mv^2}{\varrho}$. Ist nun die Bahn ein Kreis von dem Halbmesser r, so gleicht der Weg s, den ein Umgang fordert, $2\pi r$. Da

Blutadern und daher die entgegengesetzten Richtungen ihrer Ströme in den meisten Körpertheilen bedingen es, dass sich beide Arten von Einflüssen gleichzeitig geltend machen und sich daher der Theil mit Blut überfüllt, wenn sein arterieller Blutlauf durch die Schwungkraft unterstützt und sein venöser gehindert wird, oder an Blut verliert, wenn das Entgegengesetzte stattfindet. Dreht man das Thier um seine Längsachse, so werden natürlich alle peripherischen Körpergebilde, mithin vorzugsweise die Haut den Einflüssen der Schwungkraft am Meisten unterworfen.

§. 626. Da die Blutkörperchen eine grössere Eigenschwere als die Blutflüssigkeit haben, so fällt auch für sie die Wirkung der Schwungkraft verhältnissmässig grösser aus. Sie können sich daher in einem Gefässbezirke anhäufen. Ueberschreitet der auf die Flächeneinheit thätige Druck, welchen die Centrifugalkraft erzeugt, den auf dieselbe Flächeneinheit bezogenen Festigkeitsmodul der Gefässwand, so reisst diese ein, so dass Blutergüsse zu Stande kommen.

§. 627. Die Versuche von NEUDÖRFER bestätigen diese Schlüsse. Die Haemoballie kann zu Blutergüssen, Krämpfen und Betäubung in dem Kaninchen führen, ohne dass die Möglichkeit der Erholung verloren geht. Ist auch der Kopf nach dem Umkreise gerichtet, so erweitern sich doch oft nicht die Ohrgefässe. Sie verengern sich sogar nicht selten während des Drehens, wenn das Verkürzungsvermögen derselben (§. 491) die Einflüsse der Schwungkraft mehr als aufhebt. Sie dehnen sich nach J. HOPPE stark aus, so wie man vorher den Halstheil des sympathischen Nerven durchschnitten hat. Frösche, die NEUDÖRFER mit den Füssen gegen den Mittelpunkt gerichtet drehte, stülpten den Magen nach aussen um und zeigten hier einzelne Blutergüsse. Die Folgerung, dass der von dem Mittelpunkte abgewandte Theil des Thieres der blutreichere und der ihm

---

man aber $v = \frac{s}{t}$ setzen kann, wenn t die einem Umlaufe entsprechende Zeit bedeutet, und $\varrho = r$ für unseren Fall überall ist, so erhalten wir, wenn wir diese Werthe in die obige Gleichung eintragen:

$$c = \frac{4\pi^2 mr}{t^2} = 39{,}48\ m.\ \frac{r}{t^2} \tag{93}$$

Gleicht der in Betracht zu ziehende Theil des Blutdruckes des Gefässes p und bildet die Stromesrichtung den Winkel α mit der Richtung des Halbmessers, so verwandelt sich der Druck in Folge der Drehung in $p' = p \pm c \cos \alpha$, je nachdem beide Drucke, der des Blutes und der der Schwungkraft, gleichsinnig sind oder nicht.

zugekehrte der blutärmere ist, schien sich in allen Beobachtungen zu bewähren. Erblasste aber auch die Bindehaut eines Kaninchens, weil dessen Kopf der Drehungsachse näher lag, so röthete sie sich doch noch während der Kreisbewegung, nachdem HOPPE Weingeist eingetropft hatte.

§. 628. Die Atmosphäre belastet jeden Quadratcentimeter Oberfläche mit einem Drucke von 1,033 Kilogr., wenn man den Barometerstand von 760 Millimeter, die Wärme 0° C. und die geographische Breite von 45° zum Grunde legt. Beträgt also meine äussere Körperfläche 1,5 Quadratmeter, so wirken auf sie 15500 Kilogr. als Atmosphärendruck. Diese Beschwerung erhält die Molecularzustände der verschiedenen festen und flüssigen Bestandtheile des thierischen Körpers. Sie kann aber keinen einseitigen Einfluss auf die Saftvertheilung desselben ausüben, weil die Drucke und die Gegendrucke der inneren und der äusseren Theile, welche die Atmosphäre bedingt, einander allseitig entgegenwirken. Die Verhältnisse bleiben daher auch dieselben, der Mensch mag sich auf der Höhe des Montblanc bei einem Barometerstande von 433 Mm. und einem Atmosphärendrucke von 8833 Kilogr, oder in einem Schachte bei 796 Mm. Barometer- und 16234 Kilogr. Lastwirkung befinden. Da eine Wassersäule von 10,33 Meter Höhe einen eben so starken Bodendruck als eine Luftsäule bei dem Barometerstande von 760 Mm. Quecksilber ausübt [1]), so steigen die Drucke rasch auf eine Anzahl von Atmosphären, so wie ein Taucher oder ein Wasserthier in die Tiefe des Meeres hinabgeht. Nur der schnelle Uebergang, nicht aber der wiederum erreichte Gleichgewichtszustand führt zu einer ungleichen Vertheilung der Blutmasse. POISEUILLE brachte einen Frosch in einen Kasten, dessen Luft er nach Belieben verdichten und verdünnen konnte und richtete es zugleich so ein, dass er den Blutlauf in der Schwimmhaut zu verfolgen im Stande war. Dieser blieb unverändert, man mochte die Atmosphäre vorsichtig auspumpen oder bis

---

[1]) Man kann sich das Barometer als den einen senkrechten Arm einer zweischenkeligen Röhre vorstellen, deren zweiter Arm von der überstehenden Atmosphäre geliefert wird und deren beiderseitige Säulen nach dem Gesetze des hydrostatischen Gleichgewichts (§. 24) auf einander wirken. Ist die dem Luftdrucke entsprechende Höhe der Quecksilbersäule des Barometers b, die Eigenschwere des letzteren s, die des Wassers s′ und die Höhe einer Wassersäule b′, welche die Quecksilbersäule ersetzen könnte, so hat man

$$b' = b\,\frac{s}{s'}. \qquad (94)$$

Nimmt man $b = 0{,}760$ Meter, $s = 13{,}596$ und $s' = 1$, so ist $b' = 10{,}33$ Meter.

auf 6 bis 7 Atmosphären verdichten. Da viele Menschen, die auf den grossen Höhen, z. B. der Anden, leben, keine Beschwerden trotz der grossen Luftverdünnung spüren, so folgt, dass die sogenannte Höhenkrankheit oder Puna keine Allgemeingültigkeit hat. Sollte es sich bestätigen, dass bisweilen das Blut unter den Nägeln oder zur Bindehaut hervorquillt, so könnte dieses nur durch örtliche Verdünnungswirkungen bedingt sein, wenn es nicht überhaupt von anderen Ursachen abhängt.

§. 629. Wir werden bei den Einnahmen und den Ausgaben des Blutes sehen, dass der Aufenthalt in einer sehr dünnen oder einer sehr dichten Luft die Thätigkeiten einzelner Organe merklich ändert. Die Heilversuche, die man hierauf in neuerer Zeit stützt, indem man die Kranken in geschlossene Kasten bringt, deren Luft später verdichtet wird, haben daher ihre volle Berechtigung. Allein eine wesentlich andere Blutvertheilung zeigte sich nur bei plötzlichen Uebergängen. Sie wird daher schwinden, so wie sich der Körper an die neue Luft gewöhnt hat. Die Eisenbahnbauten nöthigen bisweilen, unter dem Wasser von Strömen zu arbeiten, die zu keiner Jahreszeit austrocknen. Man versenkt zu diesem Zwecke einen Behälter, in dem sich die Menschen aufhalten und dem man Luft von oben her zuführt. Diese hatte z. B. nach BUCQUOY[1]) einen Druck von 2 bis 3 Atmosphären, als man den Grund für die Pfeiler der Kehler Rheinbrücke legte. Der plötzliche Uebergang aus der verdichteten in die gewöhnliche Luft, oder umgekehrt, kann Schmerzen, besonders in den Ohren, Herzklopfen und selbst Ohnmachten erzeugen. Die Einathmung wird kürzer und die Ausathmung länger. Die Häufigkeit des Pulses soll sich nach BUCQUOY in der Regel vergrössern, nach LANGE[2]) dagegen immer in der verdichteten Luft abnehmen. LANGE und HENSEN fanden auch, dass der Blutdruck der Körperschlagadern eines Hundes sank. Die Zahl der Pulsschläge verkleinert sich nach BUCQUOY nach dem Uebergange in die gewöhnliche Atmosphäre. Die Arbeiter können in dem Behälter Stunden lang thätig bleiben. Die Verderbniss der Luft durch den in ihr verbreiteten Kohlenstaub und den immer reichlicher werdenden Gehalt an Kohlensäure, nicht aber die grosse Dichtigkeit derselben nöthigt sie, den Behälter zu verlassen.

---

[1]) E. BUCQUOY, Action de l'air comprimé sur l'économie animale. Strasbourg 1861. 4. p. 12.

[2]) J. LANGE, Die comprimirte Luft, ihre physiologischen und therapeutischen Wirkungen. Göttingen 1864. 8. S. 14.

§. 630. Man hat sogleich eine verschiedenartige Blutvertheilung, so wie die Atmosphäre, die einen Körpertheil belastet, einen merklichen Spannungsunterschied in Vergleich mit der, die auf einen anderen drückt, darbietet. Die Wirkung der Schröpfköpfe kann dieses unmittelbar versinnlichen. Die von JUNOD in die Heilkunde eingeführte Haemospasie erhärtet das Gleiche in grösserem Maassstabe. Man umgibt z. B. den Fuss, den Unterschenkel und einen Theil des Oberschenkels mit einem nicht eng anliegenden Blechstiefel, der oben hermetisch befestigt wird und von dem ein mit einem Hahne versehenes Röhrensystem ausgeht. Dieses wird mit einer Verdünnungs- oder einer Verdichtungspumpe verbunden. Verkleinert man die Spannung, so strömt mehr Blut aus anderen Körpertheilen nach dem eingeschlossenen Gliede, das desshalb aufschwillt und wärmer wird. Man hat also hierin ein kräftiges Ableitungsmittel, das weder Schmerz erzeugt, noch mit einem dauernden Saftverluste verbunden ist, dagegen zu Ohnmacht bei zu starkem Eingriffe führen kann. Blutüberfüllungen einzelner Eingeweide, heftige hierdurch erzeugte Schmerzen verlieren sich jedoch oft erst, wenn der Puls fadenförmig geworden [1]). Verdichtet man die Luft, so treibt man hierdurch zugleich Blut aus dem Gliede, das desswegen blass wird und an Umfang abnimmt. Die örtlichen Gefässverbindungen mit leidenden Theilen üben einen nicht unbedeutenden Einfluss auf die Ergebnisse aus. Man muss sie daher immer bei der Auswahl des Körperabschnittes, den man den Wirkungen des veränderten Luftdruckes aussetzt, berücksichtigen. Es ist ferner im Auge zu behalten, dass die Verdünnung, die mehr Blut in das eingeschlossene Glied saugt, die Füllung und die Blutspannung in den anderen Körpertheilen verkleinert und die Verdichtung in beiderlei Hinsicht entgegengesetzt wirkt. Man könnte übrigens ähnliche Wirkungen in dem zweiten Falle erreichen, wenn man den Zwischenraum zwischen der Blechhülse und dem Körpertheile mit einer tropfbaren Flüssigkeit füllte und auf diese eine Drucksäule nach dem Grundsatze der Bramah'schen Presse (§. 29) wirken liesse.

§. 631. Hat z. B. ein Rippenbruch die Lunge, nicht aber die äussere Haut zerrissen, so dringt die eingeathmete Luft in das Bindegewebe, das sich unter der Haut befindet und verbreitet sich allmälig immer weiter von der Verletzungsstelle aus. Stirbt der

---

[1]) T. JUNOD, Nouvelles Considérations sur les effets thérapeutiques de l'Hémospasie. Paris 1858. 8. p. 15.

Mensch, so liegt die Todesursache in den Folgen der Lungenwunde, und nicht in dem Hautemphysem, dessen Luft von selbst aufgesogen wird, wenn die Heilung zu Stande kommt. GALLANDAT[1]) theilte schon vor beinahe einem Jahrhundert mit, dass die Neger von Guinea die Erzeugung eines künstlichen Hautemphysemes als Heilmittel benutzen. Sie machen einen bis zum Bindegewebe reichenden Hautschnitt am Unterschenkel, blasen von hier aus Luft ein, bis sich diese unter den grössten Theil der äusseren Körperoberfläche verbreitet hat, schliessen die Wunde, geben dann dem Kranken einen Trank, der verschiedene Pflanzensäfte, Limonensaft, Guineapfeffer und Branntwein enthält und lassen ihn bis zur starken Ermüdung laufen. Die reichliche nachfolgende Schweissbildung soll die Heilung vermitteln. Die eingeführte Luft ist nach 9 bis 11 Tagen in Folge der Aufsaugung verschwunden. TAKKEMBERG[2]) heilte nach diesem Verfahren einen jungen, dem Tode nahen Neger, der, wie es scheint, an einem Nervenfieber litt. Ein Hund, dem NEGRE[3]) ein ausgedehntes Hautemphysem zu wiederholten Malen erzeugt hatte, litt nicht im Geringsten dadurch. Lässt auch die Beschreibung des, wie es scheint, in Europa wiederum vergessenen Heilverfahrens nicht genau beurtheilen, welche Rolle hierbei das Hautemphysem übernimmt, so gilt dieses nicht von einer Angabe von HERODOT[4]), dass die Scythen Luft in die Geschlechtstheile der Stuten blasen, um eine stärkere Schwellung der Blutadern der Milchdrüsen herbeizuführen und eine reichlichere Absonderung zu erzielen. Dieses Verfahren, eine ungleiche Vertheilung der Blutmasse zu erreichen, dürfte auch für die Heilkunde in mehr als einem Falle verwerthbar sein.

§. 632. Es kam hin und wieder bei Operationen am Halse vor[5]), dass die Kranken unter der Hand des Chirurgen starben oder in eine tiefe Ohnmacht verfielen, nachdem man ein eigenthümliches Geräusch vernommen hatte, das von dem Lufteintritte in die Venen herrührte. Bleibt die durchschnittene Drosselblutader

---

[1]) GALLANDAT, Nouveaux Mémoires de l'Acad. de Berlin. 1772. Berlin 1774. 4. p. 43—43.

[2]) GALLANDAT p. 50. 51.

[3]) NEGRE bei GALLANDAT p. 48. 49.

[4]) GALLANDAT p. 46.

[5]) CH. J. E. v. WATTMANN, Sicheres Heilverfahren bei dem schnell gefährlichen Luftzutritt in die Venen und dessen gerichtsärztliche Wichtigkeit. Wien 1843. 8. S. 4—17. A. BLOCHMANN, Aër in venis causa mortis. Dresdae 1853. 8. p. 8—13.

einer regelwidrigen Verwachsung wegen oder aus einer anderen Ursache offen, so kann leicht eine tiefe Einathmung eine grössere Menge von Luft in das Rohr saugen (§. 554). Man tödtet auch oft rasch Hunde und besonders Pferde durch das Einblasen von Luftmassen, wie schon PEYER und vorzugsweise HARDER[1]) zu Ende des siebzehnten Jahrhunderts nachwiesen.

§. 633. Keine der beiden Erklärungen, die man bis jetzt aufgestellt hat, genügt vollständig. MERCIER, DENOT, FORGET und POISEUILLE nahmen an, dass die in die Drosselvene gedrungenen Luftmassen, wenn sie das Blut schaumig machen, die feineren Aeste der Lungenschlagader verstopfen und die Athmung auf diese Art unterdrücken. Wir haben gesehen, dass die Einschaltung von Luftblasen im Verlaufe einer Flüssigkeit, die sich in einer dünnen Glasröhre befindet, ausserordentliche Widerstände der Fortbewegung erzeugt (§. 108 Anmerk. 1) und immer ein Theil der Pressung durch die Zusammendrückung des Gases aufgezehrt wird. Jene Luftembolie[2]) müsste alle Athmungscapillaren von der Blutzufuhr mit einem Male abschneiden, um die Erstickung herbeizuführen. Der Mensch wird überdies nicht blau. Er stirbt zu rasch und überhaupt nicht unter Zeichen, die solche Athmungsstörungen anzeigen.

§. 634. MAGENDIE, AMUSSAT, BOUILLAUD, CORMAK und BECK, wie schon von älteren Forschern BRUNNER, HARDER und MORGAGNI leiten den Tod von der Lähmung der Zusammenziehung des durch einen reichlichen Luftinhalt ausgedehnten rechten Herzens her. Hatte BECK[3]) Luft in die Drosselblutader von Rattmäusen in der Richtung nach dem Herzen zu getrieben, so schrie das Thier, zuckte mehrere Male und starb in zwei bis drei Secunden. Eine schaumige Blutmasse füllte die rechte Vor- und Herzkammer strotzend an. Alle Luft fehlte dagegen in dem linken Herzen und den Körpergefässen mit Ausnahme der unteren Hohlvene. Führte BECK kleine Luftmengen in die Arm- oder die Schenkelblutader von Hunden oder von Katzen in der Richtung nach dem Herzen zu ein, so zeigten

---

[1]) BLOCHMANN p. 13.

[2]) Einspritzungen von Quecksilber in das Blut können Stockungen in den Lungen, pneumonische Heerde und den Tod in Hunden herbeiführen. Mässige Mengen Kohlenpulver, Oel (§. 545) oder Eiter werden oft ohne Nachtheil ertragen. Siehe schon MAGENDIE, Leçons sur les phénomènes physiques de la vie. Tome II. Paris 1837. S. p. 141 und p. 190.

[3]) B. BECK, Untersuchungen und Studien im Gebiete der Anatomie, Physiologie und Chirurgie. Carlsruhe 1852. 8. S. 27—36.

sich Athmungsstörungen schon nach dem vierten Athemzuge. Das Thier schrie und athmete mühsam, erholte sich jedoch später vollständig. Tödtete man es während der Athembeschwerden, so waren die Verzweigungen der Lungenschlagadern, nicht aber die der Lungenblutadern mit schaumigem Blute angefüllt. Man hatte also hier die §. 633 erläuterten Verhältnisse.

§. 635. Trieb NYSTEN[1]) kleine Luftmengen in die Carotis von Hunden in der Richtung nach dem Gehirn zu wiederholten Malen ein, so blieben alle merklichen Nachtheile aus. Aenderte er dagegen den Versuch dahin ab, dass er eine grössere Luftmenge mit Gewalt einstiess, so verfiel der Hund auf der Stelle in Krämpfe. Kein äusserer Reiz konnte ihn aus seiner Bewusstlosigkeit wecken. Die Athmung wurde später röchelnd und das Thier starb nach drei Stunden. Keine Spur schaumigen Blutes fand sich bei der Leichenöffnung. Man sollte die Hirngefässe nach Todesfällen des Menschen genauer, als dieses bisher geschah, untersuchen. Ein Umstand könnte jedoch hier leicht irre führen. Es zeigt sich nicht selten nach der Oeffnung der Schädelhöhle, dass die Hirnhautschlagadern und andere arterielle oder venöse Gefässe Luftblasen enthalten. Diese Erscheinung rührt davon her, dass Luft in die nicht zusammengefallenen und in ihrem Innern gespannten Röhren stürzt, so wie der luftdichte Verschluss des Schädels bei dem Durchsägen des Knochens aufgehoben und die Gefässe verletzt werden.

§. 636. Da die Oeffnung der Brusthöhle die Luftverdünnung, welche die Einathmung voraussetzt, unmöglich macht, so unterdrückt sie auch die Athmungsthätigkeit, so wie sich die Verletzung auf beide von einander unabhängige Lungenfellsäcke erstreckt. Der Herzschlag steht desshalb in den warmblütigen Geschöpfen binnen Kurzem still oder wird wenigstens so schwach, dass er keinen ausgedehnten Körperblutlauf mehr unterhalten kann. Leitet man die künstliche Athmung ein, indem man Luft in die Lungen treibt und diese vermöge der elastischen Rückwirkung austreten lässt oder wiederum heraussaugt, so belebt sich der Herzschlag. Eine Kreislaufsbewegung, die jedoch immer beschränkter und langsamer als im unversehrten Zustande bleibt, kehrt von Neuem zurück. Eine passend ventilirte Vorrichtung, durch die stets reine Atmosphäre eingeführt und die aus den Lungen tretende Luft von der später eingeleiteten abgehalten wird, dient natürlich am Besten für die

[1]) BLOCHMANN a. a. O. p. 17.

künstliche Athmung. Die Herzschläge werden aber auch schon kräftiger und halten länger an, wenn derjenige, der den Versuch macht, seine eigene Ausathmungsluft durch eine in die Luftröhre gebundene Röhre treibt und wiederum aussaugt, wenn also eine Gasmischung in die Lungen gelangt, die zwar weniger Sauerstoff als die reine Atmosphäre, jedoch immer bedeutende Mengen desselben enthält und mit reichlichen Massen von Kohlensäure geschwängert ist.

§. 637. War der Durchgang des Blutes durch die Lungen in den letzten Lebensaugenblicken erschwert, so muss sich verhältnissmässig mehr Blut in dem Körperkreislaufe und in dem rechten Herzen anhäufen. Dieser in den meisten Leichenöffnungen auftretende Fall gestattet keine Rückschlüsse auf Abweichungen, die vor dem Todeskampfe vorhanden waren (§. 425). Wir haben schon §. 410 fgg. kennen gelernt, dass man nicht die Blutanhäufung als die einzige Ursache ansehen darf, wesshalb das rechte Herz am Spätesten abzusterben und der rechte Vorhof länger als die rechte Kammer zu schlagen pflegt.

§. 638. Dauern auch die Bewegungen des ausgeschnittenen Herzens vorzugsweise in jüngeren Säugethieren eine Zeit lang fort, so erhält sich doch die Empfänglichkeit nur eine Reihe von Stunden unter den günstigsten Verhältnissen. Bewahrt man es in einer warmen und mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre auf, so bleibt es länger reizbar, als wenn man diese Vorsichtsmaassregel vernachlässigt. Der Winterschlaf kann die Dauer der Reizempfänglichkeit merklich verlängern. Man findet bisweilen, dass das Herz eines Hundes, eines Kaninchens oder einer Taube, die vor 2 oder 2½ Tagen gestorben ist, zu schlagen anfängt, wenn man die Brusthöhle jetzt erst öffnet. Hatte ROUSSEAU [1]) das Brustbein einer Frau 24 Stunden nach der Hinrichtung entfernt, so sah er noch das Herz bis 5 Stunden später klopfen.

§. 639. Frösche, die schon seit einem halben Tage todt sind, können noch einen vollständigen Blutlauf in den Haargefässen der Schwimmhaut zeigen. Ein an Abmagerung zu Grunde gegangenes Thier der Art, dem ich die rechte Hälfte des verlängerten Markes ein halbes Jahr vorher durchschnitten hatte, das die Zeit über immer seinen Rumpf nach rechts gekrümmt und das rechte untere Augenlid emporgezogen hielt, lieferte diesen Fall, nachdem schon die Muskeln ihre Empfänglichkeit eingebüsst hatten. Der noch voll-

---

[1]) CANSTATT's Jahresbericht. 1858. Bd. I. S. 49.

kommen regelrechte Blutlauf der Haargefässe zeigte keinen Unterschied in der rechten und in der linken Schwimmhaut. Man macht diese Erfahrung in Fröschen häufiger, weil ihre Lungenathmung eine untergeordnete Rolle der Hautathmung gegenüber spielt. Es lässt sich aber kaum bezweifeln, dass auch noch ein Haargefässblutlauf in einzelnen Theilen von Menschenleichen vorhanden ist, wenn sich die schwache Herzbewegung nicht mehr unmittelbar verräth, sondern nur höchstens nach der Einführung einer Prüfungsnadel (§. 329) erkannt würde.

§. 640. Die Schlagadern des Körperkreislaufes enthalten in der Regel kein Blut in dem Leichname. Diese Leerheit der Arterien, welche die richtige Erkenntniss des Blutlaufes Jahrtausende lang gehindert hat[1]), fehlt häufig, den gewöhnlichen An-

---

[1]) Wir haben §. 4 gesehen, dass Servet den Lungenkreislauf wahrscheinlich nach den Beschreibungen von Galen erschloss, weil er den Gedanken, dass die Lungenschlagader Blut und keinen blossen Luftinhalt führt und die Scheidewand der Herzkammern undurchbohrt ist, seinen Folgerungen zum Grunde legte. Er sprach auch entschieden aus, dass die Umwandlung des dunkelen Blutes in helles in den Lungen vor sich geht, während sie Aristoteles in das Herz, Galen in die Leber und noch Bartholin in beide zugleich verlegte. (Eine Vertheidigung seiner übrigen Ansichten über den Gasgehalt und den Einfluss des Blutes besonders gegenüber den Ansichten von Flourens findet sich bei V. Gaillard, De la mise en rapport dans l'appareil respiratoire de l'élément sanguin avec l'élément atmosphérique. Paris 1864. 4. p. 8—17.) Oehl war während des Druckes dieses Werkes so freundlich, die Ansprüche der S. 3 erwähnten italienischen Schriftsteller Ruini und Rudio auf die Entdeckung des Kreislaufes durch das Studium der betreffenden Werke auf meine Bitte genauer festzustellen. Die Zuvorkommenheit des Bibliothekars V. Piccaroli in Pavia machte es ihm möglich, zum Ziele zu gelangen.

Es fand sich zunächst, dass die Angabe, Ruini habe seine Ansichten über den Kreislauf 1590 oder überhaupt vor 1598 veröffentlicht, nicht begründet ist. Seine Mittheilungen finden sich in dem erst 1598 erschienenen Werke: Dell' Anatomia e dell' Infirmità del Cavallo di Carlo Ruini. Libro II. Cap. XII. p. 108. 109. Die wichtigste Stelle lautet:

L'officio di questi ventricoli è del diritto (destro) disponere il sangue, che di quello si possono generare gli spiriti della vita e nodrire i polmoni; del sinistro è ricevere questo sangue già disposto e convertirne una parte negli spiriti che danno la vita e mandare il restante insieme con quegli spiriti per le arterie e tutte le parti del corpo. Nell' uno e nell' altro ventricolo sono due bocche o pertugi; per quello del diritto entra il sangue della vena grande o cava e esce per la vena arteriale: e per quello del ventricolo manco entra il sangue accompagnato dell' aere preparato nei polmoni per l'arteria venale; il quale fatto tutto spirituoso e perfettissimo nel ventricolo sinistro esce guidato dell' arteria grande per tutte le parti del corpo eccetocchè per li polmoni.

Was Rudio betrifft, so hat G. M. Zecchinelli eine Schrift in Padua 1838 veröffentlicht: Dalle Dottrine sulla struttura e sulle funzioni del Cuore e delle Arterie che

gaben nach, in Menschen, die vom Blitze getroffen wurden, und in Thieren, die man durch schädliche Gase oder durch Gifte getödtet

---

imparò per la prima volta in Padova Guglielmo Harvey da Eustachio Rudio. Dieses bezieht sich darauf, dass Rudio, der zwei Werke über das Herz geschrieben, von 1599 bis 1611 Professor der praktischen Medicin in Padua war, Harvey aber von 1598 bis 1602 dort studirte und in dem zuletzt genannten Jahre promovirte. Zecchinelli glaubt, dass Harvey die von Canani zuerst 1603 beschriebenen Venenklappen durch Fabricius ab Aquapendente, der ebenfalls in Padua lehrte (vgl. H. Meibom, De valvulis vasorum. 1682. Haller, Disput. anat. Vol. II. Gottingae 1747. 4. p. 57) und den Lungenkreislauf durch Rudio kennen gelernt habe. Da aber dieser nur die Anschauungen seiner Zeit, selbst nach den Angaben von Zecchinelli, zusammenstellte, so konnte er höchstens die fremden Leistungen Harvey mitgetheilt und in ihm den Gedanken angeregt haben, den Gegenstand durch Versuche näher zu prüfen. Mochte ihm auch die theologische Schrift von Servet zu fern liegen, so vermochte er doch schon die Annahme eines Lungenkreislaufes in den medicinischen Werken von Realdus Columbus und Caesalpin und der Gegner derselben leicht zu finden. Das Wort: circulatio, das auch Harvey (Exercitationes de motu sanguinis. Roterdami 1661. 12. p. 173 fgg.) braucht, rührt von Caesalpin her. (Siehe M. B. Lessing, Handbuch der Geschichte der Medicin. Bd. I. Berlin 1838. 8. S. 520. 521.)

Es ergibt sich im Ganzen, dass sich Servet 1553 für den Lungenkreislauf und Ruini (vielleicht bekannt mit den bald zu erwähnenden, 1583 veröffentlichten Andeutungen von Caesalpin) 1598 für diesen und den Körperkreislauf klar und entschieden nach theoretischen Auffassungen öffentlich ausgesprochen haben. Es war dagegen nicht begründet, wenn man auch Servet die Kenntniss des grossen Kreislaufes zuschrieb, weil er den Lebensgeist, wie Vesal, aus den Schlagadern in die Blutadern übertreten liess. Vesalius selbst kannte die Blutbewegung durch die Schlagadern nicht, obgleich er wusste, dass diese oberhalb einer Ligatur anschwellen. (Vgl. K. Sprengel, Versuch einer pragmatischen Geschichte der Arzneikunde. Zweite Auflage. Th. III. Halle 1801. 8. S. 537.)

Die Servet'sche Auffassung des Lungenkreislaufes wurde später von Columbus 1559 als eigene Entdeckung und zwar zum Theil unvollständiger vorgetragen. Es dürfte jetzt schwer zu entscheiden sein, inwiefern dieser Forscher und Caesalpin zu ihren Ergebnissen selbstständig gelangten oder nicht, da Einzelnes aus dem Servet'schen Werke gerade wegen des Aufsehens, das dieses in der protestantischen und der katholischen Theologie erregte, auch italienischen medicinischen Professoren unmittelbar oder mittelbar bekannt werden konnte. (Ueber Rueff s. Sprengel a. a. O. S. 545.)

Andreas Caesalpin hob schon hervor, dass nur die peripherischen Abschnitte der unterbundenen Blutadern anschwellen. Er befreite sich aber nicht von den Vorstellungen seiner Zeitgenossen, dass Blut durch die Scheidewand des Herzens schwitze und dasselbe in den grossen Gefässen nur hin und her schwanke. Er hatte dessenungeachtet vielleicht eine unklare Ahnung des grossen Kreislaufes (vgl. die zu günstigen Deutungen bei Sprengel a. a. O. S. 519 und Rudolphi, Grundriss der Physiologie. Bd. II. Abth. II. Berlin 1828. 8. S. 285 und Pariser, Historia opinionum quae de sanguinis circulatione ante Harvaeum viguerint. Berolini 1830. 8. p. 41), wenn er (De plantis libri XVI. Florentiae 1583. 4. p. 3) sagte: Nam in animalibus videmus alimentum per venas duci ad cor tamquam ad officinam caloris insiti et adepta inibi ultima perfectione per arterias in

hat, in Personen, die an Entmischungskrankheiten, an Skorbut oder Pest zu Grunde gegangen sind. CARSON, RAPP und

---

universum corpus distribui, agente spiritu, qui ex eodem alimento in corde gignitur. SARPI hat keine Ansprüche als Entdecker.

Mag auch HARVEY alle diese zum grössten Theile theoretischen Lehren während seines Aufenthaltes in Italien kennen gelernt und seine Vorgänger in seinem Werke verschwiegen haben, so zeichnen sich doch seine Leistungen durch zwei Hauptmerkmale aus. Die dunkelen und phantastischen Vorstellungen über die chemische Beschaffenheit des Blutes sind möglichst beseitigt, wenn auch natürlich oft genug Gedanken vorkommen, die den Stempel der Zeitrichtung in dieser Hinsicht an sich tragen. Man braucht z. B. zu keiner gezwungenen Deutung Zuflucht zu nehmen, um die Grundzüge der Lehre der Kohlensäureausscheidung durch die Lungen und den Einfluss des hochrothen Blutes auf die Ernährung und die Wärmebildung in den Worten (Exercitationes p. 194. 195) zu finden: Ut aër inspiratus sanguinis nimium fervorem, in pulmonibus et centro corporis, temperat fuliginumque suffocantium eventilationem procurat, ita vicissim sanguis aestuans, per arterias in universum corpus projectus, extremitates omnes fovet: nutrit, in vivis sustentat et ab externi frigoris vi extinctionem prohibet. Ein zweites weit grösseres Verdienst von HARVEY bestand darin, dass er die Lehre von dem Kreislaufe des Blutes Schritt für Schritt durch Versuche zu erhärten suchte. Der Geist, mit dem er diese Aufgabe löste, lässt ihn beinahe als ebenbürtig dem seiner beiden grössten Landsleute, seines Vorgängers SHAKESPEARE und seines noch grösseren Nachfolgers NEWTON erscheinen. Da er seine zwischen 1602 und 1619 gemachten Beobachtungen erst 1628 vollständig bekannt machte, so pflegt man die Entdeckung des Kreislaufes und mit ihr den Anfang einer neuen Periode der Physiologie und der Medicin in dieses Jahr zu verlegen.

Das Mikroskop wurde zwar etwas früher, als HARVEY seine Untersuchungen anstellte, erfunden und besonders in Holland verbreitet. Da sich aber die Engländer dieses Hülfsmittels noch nicht bedienten, so konnte HARVEY nur den Uebergang des Blutes aus den Arterien in die Venen theoretisch erschliessen. Er stellte schon die beiden Ansichten, die noch zu Anfange unseres Jahrhunderts gegen einander kämpften, den Durchtritt durch gesonderte Gefässe oder den durch Lückenräume des Parenchyms, als die zwei Möglichkeiten auf. Wie VESAL angenommen hatte, dass die Schlag- und die Blutadern wechselseitig anastomosiren, so glaubte auch HARVEY (a. a. O. p. 206. 207) Uebergänge beider in dem Gehirn, dem Hoden und dem Fruchtkuchen gefunden zu haben. Das Blut sollte dagegen sonst die Zwischenräume (porositates) der Theile durchdringen (a. a. O. p. 193).

MARCELLUS MALPIGHI (Opera posthuma. Amstelodami 1698. 4. p. 122. 123) füllte zuerst 1661 die von HARVEY gelassene Lücke bei Gelegenheit seiner Lungenuntersuchungen aus, indem er den Capillarblutlauf im Frosche unter dem Mikroskope nachwies. MOLYNEUX sah ihn 1683 in Eidechsen. LEEUWENHOEK (Epistolae ad societatem regiam anglicam. Lugduni Batavorum 1719. 4. p. 109—112. 155. 161) beobachtete das Gleiche 1688 in Fröschen, Wassersalamandern, Kaulquappen und Fischen. Obgleich BERGER (De transitu sanguinis per vasa minima. HALLER, Disput. anat. Vol. II. p. 152) behauptet, dass auch schon SWAMMERDAM die Haargefässe auf anatomischem Wege erkannt habe, so enthält doch die Bibel der Natur nur die Beschreibung der länglichrunden Blutkörperchen des Frosches, die in ihrer Seitenlage als Stäbchen gedeutet werden (J. SWAMMERDAM, Biblia Naturae. Ed. BOERHAVE. Traductio Gaubii. 1738. Fol. p. 834)

Hetsch[1]) bemerkten sie nicht, wenn sie die Brusthöhle der Säugethiere im Leben geöffnet hatten. Zwei Missverständnisse haben sich hier geltend gemacht. Die Leerheit der Schlagadern oder der Mangel derselben hängt nicht unmittelbar mit einem bestimmten Leiden oder einer einzelnen Todesart zusammen. Diese Bedingungen wirken nur mittelbar, indem sie ihren Einfluss auf die Erscheinungen der Todtenstarre ausüben. Man findet ausserdem oft genug, dass ein Schlagaderbezirk der Leiche leer und ein anderer mit flüssigem oder geronnenem Blute gefüllt ist, so dass man die örtlichen Einflüsse berücksichtigen muss. Der Satz von Hetsch[2]), dass immer die Körperschlagadern leer erscheinen, wenn die Verzweigungen der Lungenarterie gefüllt sind, und umgekehrt, hat keine allgemeine Gültigkeit.

§. 641. Will man die Körperarterien eines Pferdes kurz nach dem Tode einspritzen, so gelingt dieses unvollkommener, als wenn man den Versuch ein bis zwei Tage später wiederholt. Die Schlagadern, vorzugsweise die kleineren und kleinsten Querschnittes verengern sich in der Leiche zuerst beträchtlich und verlieren dabei oft den grössten Theil ihres inneren Hohlraumes. Sie erweitern sich später von Neuem. Das Wesen und der Gang der Veränderung entsprechen dem der Todtenstarre der rothen Muskeln. Tritt sie zu einer Zeit ein, zu welcher das Blut noch vollkommen beweglich ist, so wird es grösstentheils in die Haargefässe und die Blutadern hinübergetrieben und nur in sehr geringen Mengen in den grösseren

---

und der des Menschen, deren Anwesenheit in dem lebenden Blute bezweifelt wird (p. 69. 70). (Vgl. §. 257. Anm. 1.) Blancard (1676), Ruysch, Hook, Lange und Cowper dagegen erschlossen die Anwesenheit selbstständiger Haargefässe aus ihren Einspritzungsversuchen. Der Arzt und Mathematiker Joh. Bernoulli (De Nutritione. Groningae 1699. 4. Opera omnia. [Ausgabe von Cramer.] Lausannae et Genevae 1742. 4. Tom. I. p. 280. 281) bestätigte nicht nur den Capillarblutlauf nach mikroskopischen Beobachtungen an dem Schwanze des Aales, sondern führte auch die Gedanken von Descartes (Tractatus de homine et de formatione foetus. Quorum prior notis perpetuis L. de la Forge illustratur. Amstelodami 1677. 4. p. 12) über die verschiedene Porosität der Thiergewebe weiter fort. Er brauchte schon das Wort: transsudare für den Durchtritt durch die Lückenräume der Gefässwände (a. a. O. p. 281), betonte die Aenderung der Ausschwitzung mit der Verschiedenheit der Grösse des Blutdruckes und die weitere Verbreitung der Ernährungsflüssigkeit innerhalb der Gewebe (p. 281—283). (Vgl. auch die Ansicht von Newton oben §. 60 Anmerk. 1.) Die Vertheidigung der allmäligen Integralerneuerung der Gewebe verwickelte Bernoulli in Streit mit seinen theologischen Collegen in Groningen, die ihn desshalb für einen Socinianer ausgaben (a. a. O. p. 297—306).

[1]) A. Hetsch, De sede sanguinis post mortem. Tübingae. 1837. 8. p. 13.

[2]) Hetsch p. 8.

Schlagaderstämmen zurückgehalten. Gerinnt es oder wird es überhaupt nur dickflüssiger, ehe sich die Schlagadern von Neuem erweitern, so erhöht sich der Gleitungswiderstand so sehr, dass es in den feineren Gefässröhren bleiben muss (§. 179 fgg.). Die erschlaffenden kleineren Schlagaderstämme können aber noch Blut oder Flüssigkeiten überhaupt aus den grösseren hinübersaugen, weil ihre Reibungsfläche verhältnissmässig geringer als die der Haargefässe ist (§. 59). Die Hohlräume der Arterienstämme vermögen nur, sich mit Dämpfen des wie eine Salzlösung verdunstenden Blutes (§. 288), den Fäulnissgasen und der wenigen endosmotisch eindringenden Flüssigkeit zu füllen. Die Elasticität der Schlagadern hat zur Folge, dass dabei das Rohr eine ihr entsprechende Form mit einer von ihr abhängigen Kraft annimmt (§. 446). Zeigen die Venen keine so durchgreifenden Veränderungen, so rührt dieses davon her, dass die Todtenstarre, die keine ausschliessliche Eigenthümlichkeit der musculösen Elemente, sondern die erste Molecularveränderung der abgestorbenen Gewebe überhaupt bildet, in den Schlagadern nachdrücklicher als in den Blutadern durchgreift. Die Thatsache, dass auch die Hirncarotis und die Wirbelschlagader mit ihren Zweigen in der Schädelhöhle, atheromatöse oder verknöcherte Arterien und aneurysmatische Ausdehnungen hin und wieder leer gefunden werden, zeugt nicht gegen die eben erläuterte Vorstellung, weil selbst dann noch ein hoher Grad von Todtenstarre vorzukommen vermag und benachbarte Arterienstücke, die sich von Neuem erweitern, Flüssigkeiten hinübersaugen können. Die Stärke und der Einfluss der Todtenstarre müssen mit dem Baue der Gefässwände, also mit den Ernährungszuständen und den Oertlichkeiten wechseln.

Zusätze und Berichtigungen.

S. 15. Z. 17 v. u. statt $\Sigma P \alpha$ l. $\Sigma P \cos \alpha$.

S. 18. Z. 12 v. u. statt $\varrho \gamma z$ l. $\varrho g z$.

S. 21. Z. 13 v. o. l. $\sqrt{\left[\frac{1}{g\,(\sin\alpha + \sin\beta)}\right]}$ arc. sin. $\frac{S}{s}$.

S. 25. Z. 9 v. o. st. verlängerbar l. verlängert.

S. 27. Z. 6 v. u. Die erste zusammenhängende, sehr klare Darstellung der hierher gehörenden Curven gibt Joh. Bernoulli in seinen für l'Hospital entworfenen Vorlesungen über Integralrechnung und zwar über die Kettenlinien Opera omnia (Ed. Cramer) Tom. III. 1742. p. 491—505, die Curve eines dehnbaren Seiles p. 505—507, die Segelcurve und die durch den Flüssigkeitsdruck erzeugten Curven p. 507—516. Es folgt schon aus dieser letzteren Darstellung, dass es nicht gerechtfertigt ist, Velaria und Lintearia ohne Weiteres gleichzusetzen, wie dieses noch gegenwärtig oft geschieht.

S. 39. Z. 1 v. u. Siehe auch O. E. Meyer, Pogg. Ann. Bd. CXXV. 1865. S. 177—209. 401—420.

S. 60. Z. 2 v. u. st. nicht selten l. nicht nur.

S. 87. Z. 19 v. u. Ein anderer Scheinbeweis, den Joh. Bernoulli für Wolf's Elementa Matheseos universae entwarf, findet sich in dessen Opera omnia. Tom. I. p. 321. 322.

S. 97. Z. 14 v. u. st. dass sich l. dass.

S. 107—109. §. 154. M. F. de Salvert (Comptes rendus. Tome LX. 1865. p. 1153—1156) leitet aus den hydrodynamischen Gleichungen den Satz ab, dass jedes Flüssigkeitselement, das im Anfange in einer durch jene Gleichungen bestimmten Fläche liegt, in dieser während der Bewegung fortwährend bleibt und die Molecüle, die sich nach innen von jener Fläche befinden, diese innere Lage stets beibehalten.

S. 272—274. §. 227. P. Montegazza (Del globulimetro, nuovo stromento per determinare rapidamente la quantità dei globetti rossi del sangue e nuove ricerche ematologiche. Milano 1865. S. p. 12—22) glaubt die Menge der in der Volumenseinheit enthaltenen Blutkörperchen annähernd bestimmen zu können, indem er durch die in bekanntem Verhältnisse mit einer unterkohlensauren Natronlösung verdünnte Blutlösung nach der Flamme einer Stearinkerze in dem dunkelen Zimmer sieht und dann bestimmt, wie viele blaue unter einander gleich dicke Gläser eingeschaltet werden müssen, bis das Lichtbild unkenntlich wird. Man führt

diese durch das Globulimeter erhaltenen Ergebnisse auf vergleichend untersuchte Blutmassen zurück, deren Körperchen man nach dem Vierordt'schen Verfahren gezählt hat. MONTEGAZZA nimmt an, dass ein Cubikmillimeter Blut gesunder Menschen 4375000 bis 5625000 Blutkörperchen enthalte. Dieser Werth sinkt aber bis auf 2250000 in blutleeren Personen.

S. 176. §. 230. Ueber die Entstehung der Blutkörperchen im Embryo und im Erwachsenen s. FOSSION (Berichterstatter einer Preisarbeit) Bull. de l'Acad. dé Méd. belge. 1865. p. 325. 336.

S. 177. §. 232. Anm. 1. MONTEGAZZA sah amoebenartige Bewegungen in kleinen Körpern, die in einer Hodensackcyste enthalten waren und BIZZOZERO in den Markkörperchen des Frosches und zum Theil des Huhnes. P. MONTEGAZZA, Sui corpusculi semoventi. Milano 1865. 8. p. 2.

S. 187. §. 243 und S. 233. §. 305. AL. SCHMIDT (Haematologische Studien. Dorpat 1865. 8. S. 8—11) fand in seinen mit ASMUTH (ASMUTH, Ueber die Einwirkung des Wasserstoffsuperoxyds auf die physiologische Verbrennung. Dorpat 1864. 8.) angestellten Versuchen, dass Hunde und Kaninchen rasch zu Grunde gehen, wenn man grössere Mengen gewöhnlichen Sauerstoffes in ihr Blut spritzt. Stellt man dagegen den Versuch mit einer wässrigen Lösung von Wasserstoffsuperoxyd an, so bleiben die Thiere am Leben. Da sonst nicht erregter positiver Sauerstoff oder Antozon bei der Zersetzung des Wasserstoffsuperoxyds entbunden wird, so greift im Leben noch ein Umstand ein, durch den das Antozon in Ozon verwandelt und dieses sogleich zu Oxydationszwecken verwendet wird. AL. SCHMIDT glaubt, dass die elektrischen Spannungen der lebenden Gewebe eine wesentliche Rolle in dieser Hinsicht übernehmen, da der krystallisirbare Blutfarbestoff allein nur neutralen Sauerstoff aus Wasserstoffsuperoxyd frei macht.

SCHMIDT (a. a. O. S. 73—81) schliesst noch aus seinen Erfahrungen, dass der erregte Sauerstoff sowohl den Gerinnungserreger als die Gerinnungsmasse in der Art zersetzt, dass die Gerinnung unmöglich wird. Er scheidet zugleich Globulin aus dem Blutfarbestoffe aus und erzeugt auf diese Weise einen neuen Gerinnungserreger (§. 243). Dieser wird aber im Leben durch fernere Oxydation so rasch zerstört, dass desshalb das Blut in den Gefässen nicht gerinnt. Die gerinnungsfähige Masse desselben unterliegt zwar auch der Verbrennung. Sie erhält sich aber wahrscheinlich in dem lebenden Blute etwas länger als der Gerinnungserreger. Die Oxydation führt auch zu dem Untergange der Blutkörperchen innerhalb der Blutbahn.

Geht ein elektrischer Strom durch verdünntes Blut, so gewinnt dadurch der gleichzeitig eingreifende atmosphärische Sauerstoff oder das Antozon, das sich aus Wasserstoffsuperoxyd entwickelt, die Fähigkeit, wie erregter Sauerstoff auf die Blutmasse zu wirken (Studien S. 116—123). SCHMIDT (a. a. O. S. 124—127) sucht daher die Ursache der kräftigen erregenden Wirkung, die der Sauerstoff im lebenden Körper verräth, in der Polarisirung desselben durch die in ihm vorhandenen elektrischen Ströme. Da jedoch diese in den todten Geweben und selbst im Blute nicht sogleich aufhören, so wie dieses die Ader verlässt, dasselbe dessenungeachtet bald gerinnt, so dürften noch gerechte Bedenken gegen jene Annahme gestattet sein.

S. 206. §. 263. Ich hatte schon bei einer früheren Gelegenheit (Der Gebrauch des Spektroskopes zu physiologischen und ärztlichen Zwecken. Leipzig und Heidelberg 1863. 8. S. 117—119) vorgeschlagen, das Gesichtsfeld des Mikroskopes durch

eine einzelne Farbe des Spectrums auszufüllen und zwar hierfür das Gelb bei D (seiner verhältnissmässig grössten Lichtstärke wegen) oder das gleichartigere Grün zwischen D und E zu wählen. Da eine so dünne Blutschicht, wie man sie zur Untersuchung der Blutkörperchen gebraucht, die Blutbänder deutlich zeigt, so könnte eine solche Einrichtung für physiologische und gerichtsärztliche Zwecke von Nutzen sein. Es versteht sich überdies von selbst, dass eine einfarbige Beleuchtung, welche das Mikroskop ohne Weiteres achromatisch macht, wesentliche Vortheile für mikroskopische Untersuchungen überhaupt darbieten wird. Ich hatte das Vergnügen, die Ausführung dieses Gedankens Hartnack zu empfehlen. Dieser ausgezeichnete Künstler versuchte es, ein oder zwei Prismen unter dem Objecttische anzubringen. Die Sache gelang so gut, dass er von nun an Vorrichtungen, die zu einfarbiger Beleuchtung dienen, für seine Mikroskope liefern kann.

Mittlerer Weile haben auch andere Forscher mikroskopische Beobachtungen in einfarbigem Lichte anzustellen sich bemüht. Cheetham (Proceedings of the Literary and Philosophical Society of Manchester. Vol. II. 1862. 8. p. 233. 234) wies schon den 17. März 1862 ein Prisma vor, mit dem er die Gegenstände unter dem Mikroskope mit den verschiedenen Spectralfarben beleuchtete. Die Structurdetails wurden durch einzelne Farben deutlicher als durch andere. Blau und Grün lieferten sehr angenehme Bilder. Das Kaloskop von Heys (Proceedings of the Society of Manchester. Vol. II. 1862. p. 234—237) besteht aus acht verschieden gefärbten und an einem passenden Stative drehbar befestigten Gläsern, die man an einer geeigneten Stelle des Mikroskopes für Untersuchungen in einfarbigem Lichte einschaltet. Leute mit schwachen Augen benutzen am Vortheilhaftesten das blaue Glas. F. Castracane degli Antelminelli (Archives des sciences physiques et naturelles. Nouvelle Période. Tome XXIII. Genève 1865. 8. p. 46. 47) stellte sich eine einfarbige Beleuchtung in dem dunkelen Zimmer für seine Forschungen über Diatomeen nach dem Rathe von Amici her. Ein Heliostat mit einem grossen Foucault'schen Spiegel und ein stark zerstreuendes Prisma dienen dazu, die farbigen Strahlen dem Beleuchtungsspiegel oder dem Beleuchtungsprisma zuzuführen. Castracane fand ein blaugrünes Licht für die Untersuchung der Diatomeenschaalen am Passendsten. Man erkennt dann Einzelnheiten, die man in weissem Lichte gar nicht oder erst unter stärkeren Vergrösserungen bemerkt. Higgins (Microscopical Journal. July 1865. p. 85—87) endlich brachte ein Spectroskop über dem Oculare an und behauptet, die wesentlichen Eigenschaften des Blutes (also wohl die Blutbänder) an einem einzigen Blutkörperchen auf diesem Wege zur Anschauung gebracht zu haben.

Unterliegt es auch keinem Zweifel, dass der Gebrauch einer für den Gegenstand passenden Art einfarbigen Lichtes manche neue Einzelnheiten nachweisen und andere leichter erkennen lassen wird, so muss man doch immer dabei einen Umstand im Auge behalten. Es kommt häufig vor, dass die Beschaffenheit eines mikroskopischen Gegenstandes Beugungserscheinungen des Lichtes veranlasst und daher zu Interferenzfarben bei dem Gebrauche weisser Beleuchtung führt. Man hat aber dabei nicht selten den Fall, dass keine merklichen Färbungen auftreten, weil sich die verschiedenen Farben so nahezu decken, dass wiederum weisses Licht herauskommt. Braucht man eine einfarbige Beleuchtung, so können solche Beugungs- und Interferenzerscheinungen Schatten, Streifen oder Linien bilden. Das secundäre Spectrum der nicht völlig achromatischen Linsen ist ebenfalls im Stande, eine dunklere Randbegrenzung des ganzen Gegenstandes oder

eines besonders ausgezeichneten Innentheiles desselben herzustellen. Man wird daher immer die farbige Beleuchtung so einrichten müssen, dass man die verschiedenen Spectralfarben durch das Gesichtsfeld gehen lassen kann. Alle Zeichnungen, die mit Verschiedenheit der einfarbigen Beleuchtung schwinden oder ihre Orte ändern, müssen dann den Verdacht optischer Kunsterzeugnisse auf sich ziehen.

S. 218. §. 284. Anm. 3. Siehe auch ROLLETT in den Sitzungsber. der Wien. Akad. Bd. L. 1864. S. 178—202.

S. 224. Anm. 1. Die ausführliche Beschreibung und Abbildung seines Saccharimeters gibt WILD in s. Schrift: Ueber ein neues Polaristrobometer (Saccharimeter, Diabetometer) und eine neue Bestimmung der Drehungsconstante des Zuckers. Bern 1865. 8. Die den Rohr- und den Harnzucker betreffenden Angaben finden sich S. 32—54.

S. 232. §. 303. Ueber die Einwirkung von Kohlenoxyd und von Kohlensäure auf das lebende Blut s. AUBERT, Zwei und vierzigster Jahresbericht der schlesischen Gesellschaft für vaterländische Cultur. Breslau 1865. 8. S. 163—165. Ueber die von Stickstoffoxyd s. HERMANN, Reichert und du Bois' Archiv. 1865. S. 469—481.

S. 233. §. 304. Die ausführliche Beschreibung seiner Gaspumpe gibt PFLÜGER in s. Untersuchungen aus dem physiologischen Laboratorium zu Bonn. Berlin 1865. 8. S. 183—188.

S. 238. §. 311. H. J. GOSSE, der schon früher die mikroskopischen und chemischen Verhältnisse der verschiedensten in der gerichtlichen Medicin in Betracht kommenden Flecke behandelt hatte (H. J. GOSSE fils, Des Taches au point de vue médico-légal. Paris 1863. 8.), liess in neuerer Zeit Photographieen der Blutkörperchen des Menschen und der verschiedenen Haussäugethiere anfertigen, um durch den unmittelbaren Anblick zu zeigen, wie die vorherrschende Grösse jener Gebilde Menschen- und Thierblut unterscheidet.

S. 255. §. 332. Den ersten Theil seiner Untersuchungen über die Hauptfaserzüge der Muskelmasse des Herzens gibt WINKLER in Reichert und du Bois' Archiv. 1865. S. 261—272. Er nennt die äussere Schicht der Muskelfasern der Schriftsteller die Nebenmusculatur, die mittleren und die inneren Fasern dagegen die Hauptmusculatur des Herzens. Erläuternde Schemenabbildungen sind der zu vergleichenden Abhandlung beigegeben.

S. 265. §. 350. Neue cardiographische Curven gibt MAREY in s. Études physiologiques sur les caractères graphiques des battements du coeur et des mouvements respiratoires et sur les différentes influences qui les modifient. Paris 1865. 8. p. 1—35 und CH. ROBIN, Journal d'Anatomie et de Physiologie. T. II. 1865. p. 276—301. Sie versinnlichen vorzugsweise die Einflüsse der Athmung und der Muskelbewegung auf die Form der Herzschläge.

S. 282. §. 375. Photographische Abbildungen der Gestalt des Frosch- und des Schildkrötenherzens während der verschiedenen Augenblicke seiner Thätigkeit theilt ONIMUS mit in ROBIN, Journ. d'Anat. et de Physiol. T. II. 1865. Pl. XXVIII. Fig. 1—4. Fig. 5 bezieht sich auf das Kaninchen.

S. 323. §. 433. Betrachtungen über den Einfluss von Athmungshindernissen auf die Erweiterung des rechten Herzens, das Blasebalggeräusch und das Klopfen der Drosselblutadern bei Unzulänglichkeit der dreizipfeligen Klappe hat PARROT, Arch. gén. de Méd. Mai. 1865. p. 550—565.

S. 333. §. 447. Die Verschiedenheit der einzelnen Gewebeelemente in den Wänden der mannigfachen Körperschlagadern behandelt nach eigenen Untersuchungen GIMBERT in ROBIN, Journ. d'Anat. et de Physiol. T. II. 1865. p. 536—568.

S. 455. §. 614. PIACHAUD (Bibliothèque universelle et Revue suisse. Nouvelle Période. T. XXIII. Genève 1865. p. 98. 99) bestätigte von Neuem bei Gelegenheit einer Montblancbesteigung, dass der Puls auf der Höhe des Montblanc (4810 Meter über dem Meere) nicht wesentlich häufiger als in CHAMOUNY (1000 Meter hoch) ist, wenn man von den Einflüssen der Körperbewegung absieht.

Gedruckt bei E. Polz in Leipzig.

